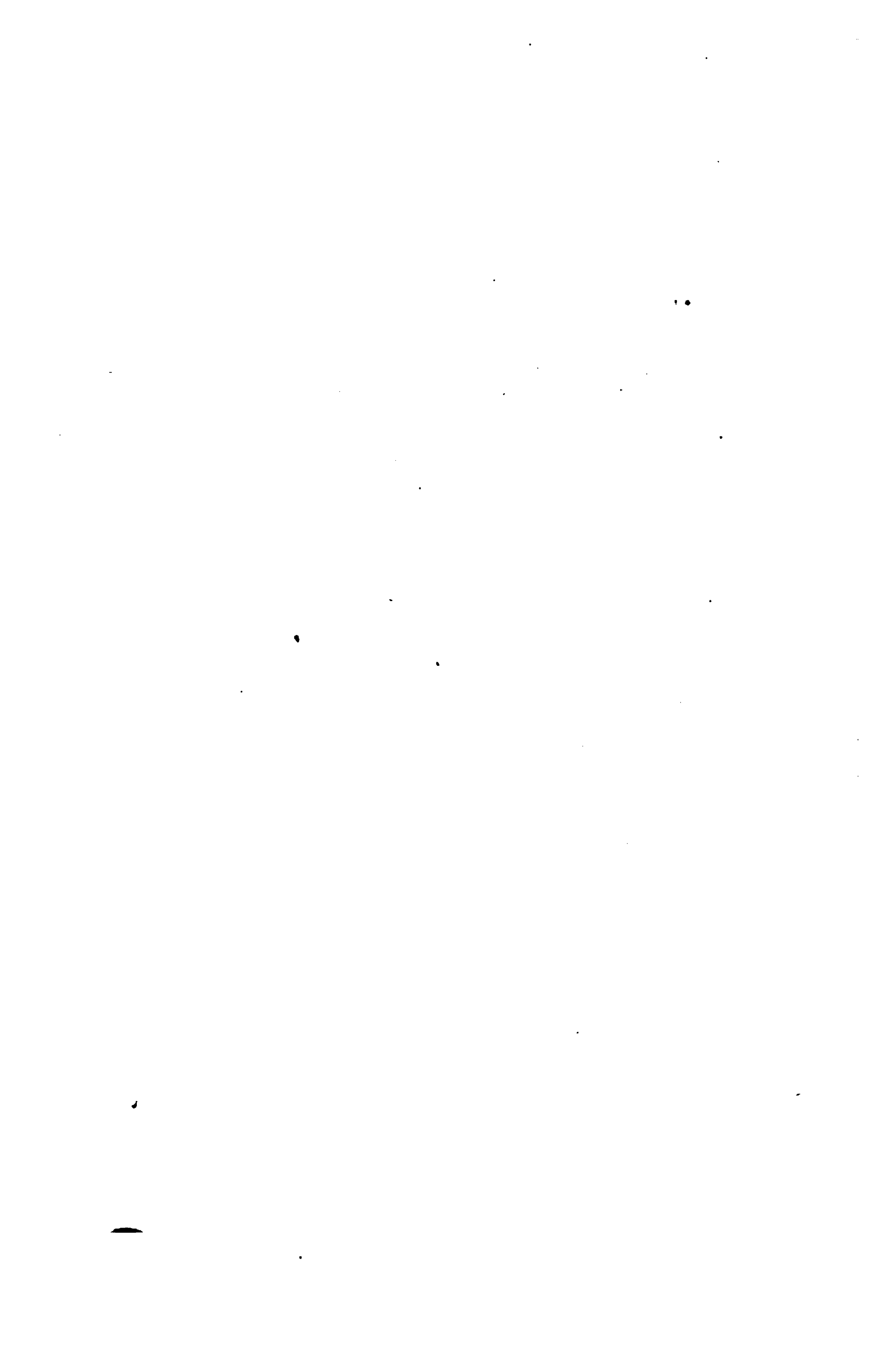
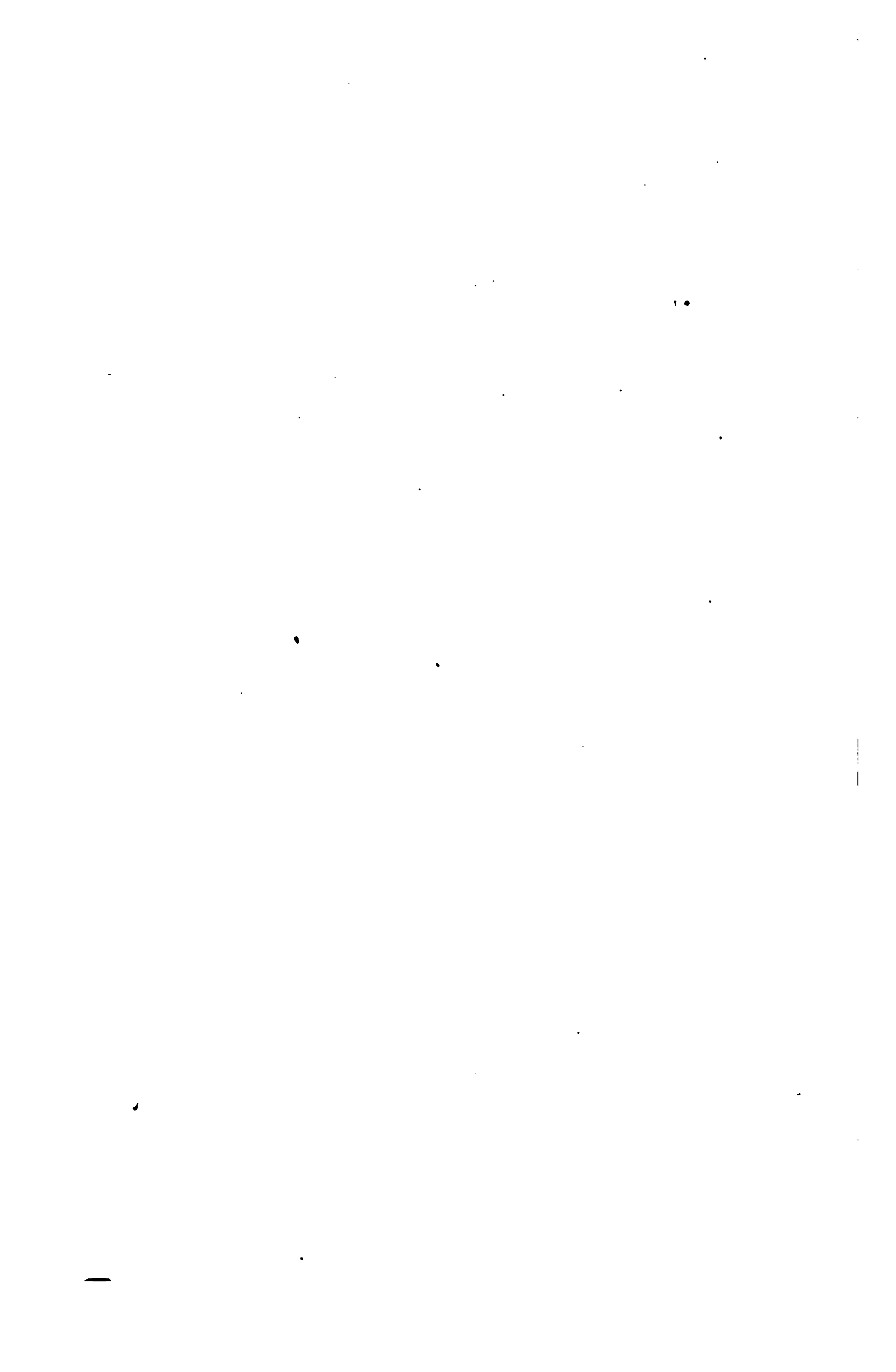

1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE



DIE LEHRE

VON DER

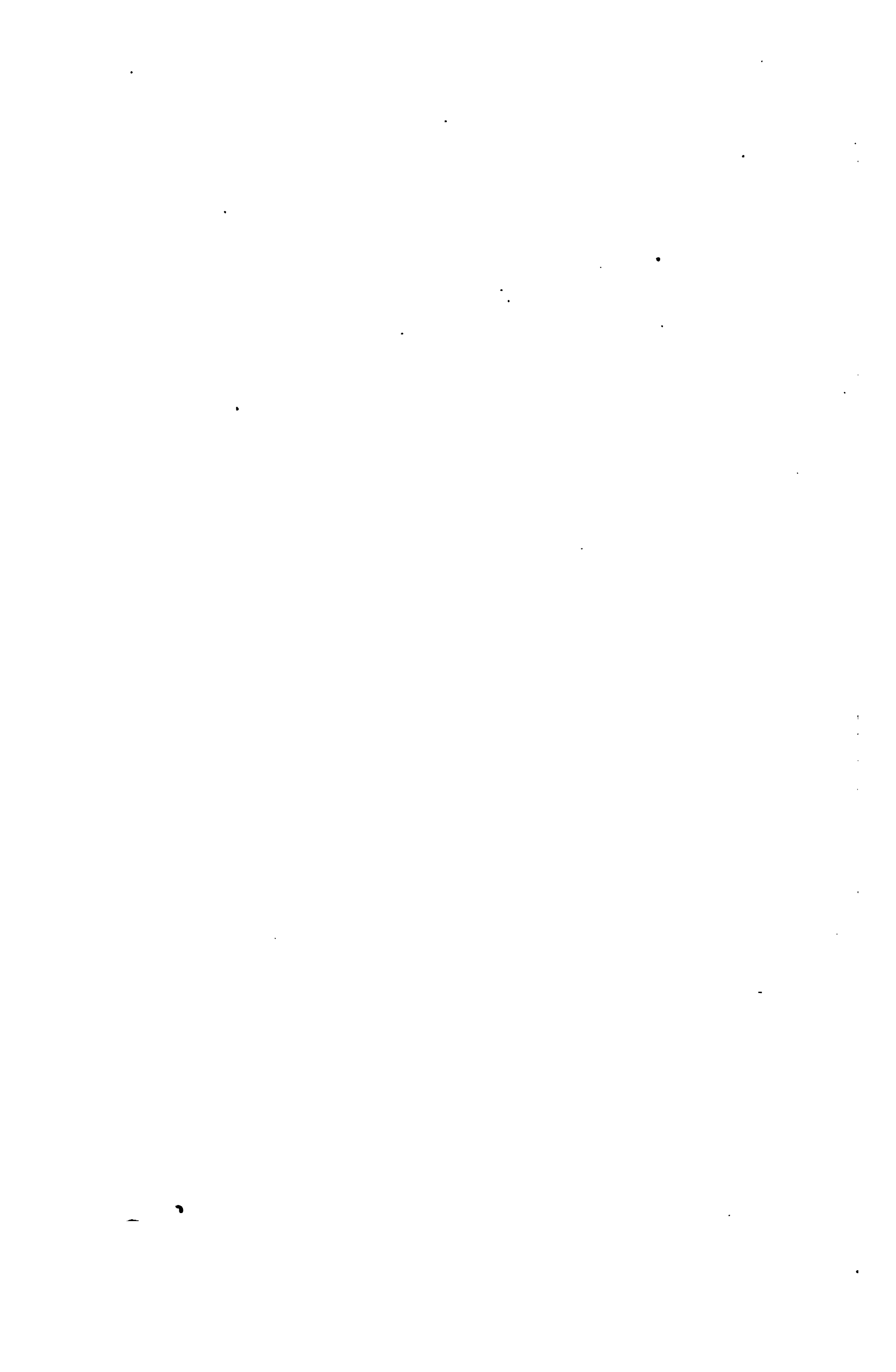
REIBUNGSELEKTRICITÄT.



DIE LEHRE

VON DER

REIBUNGSELEKTRICITÄT.



DIE LEHRE

VON DER

REIBUNGSELEKTRICITÄT.

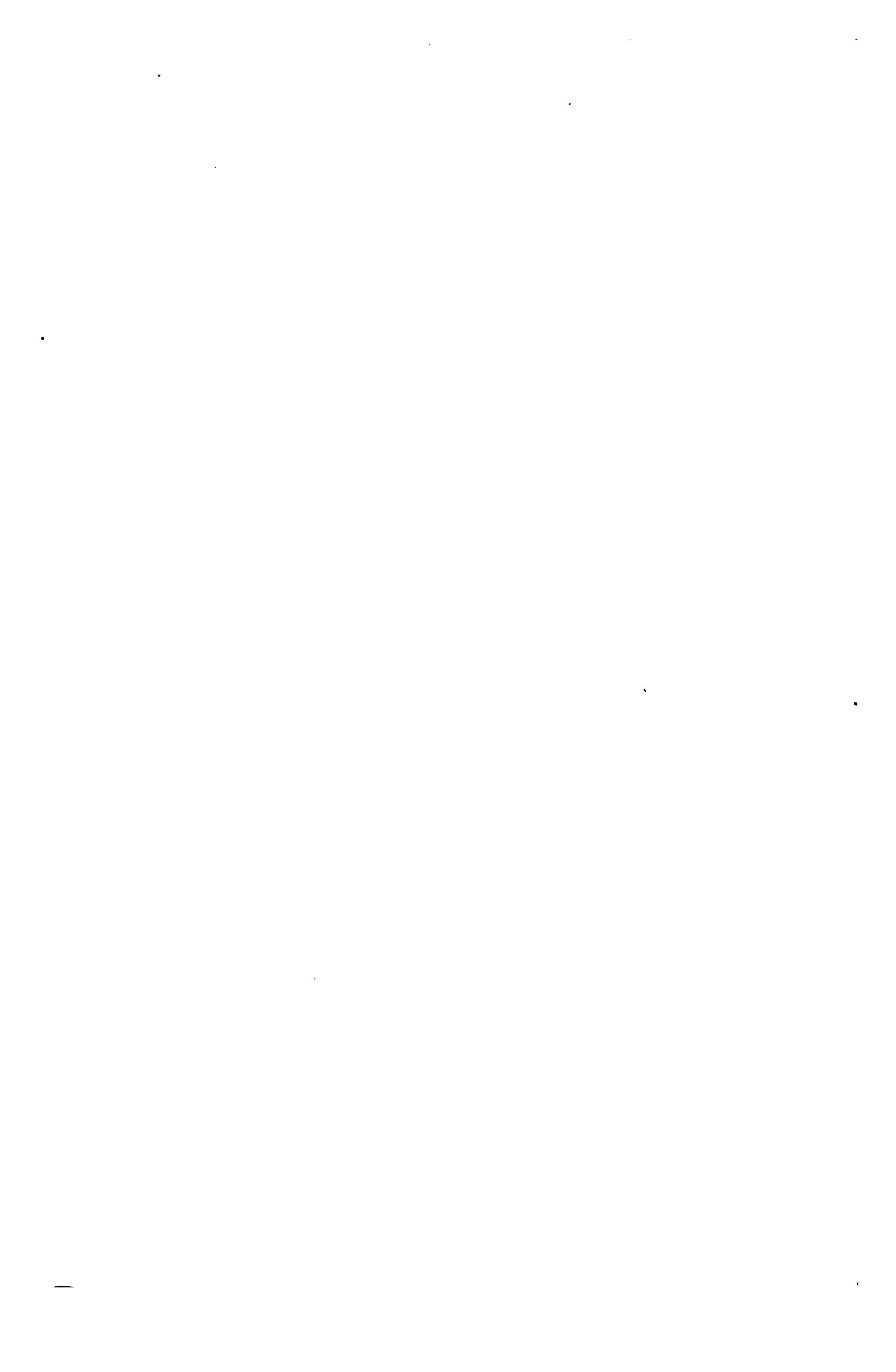
VON

PETER THEOPHIL RIESS.

ZWEITER BAND.

MIT FÜNF KUPFERTAFELN.

BERLIN,
BEI AUGUST HIRSCHWALD.
1853.



Inhalt

des

zweiten Bandes.

Seite

Zweiter Abschnitt.

Wirkungen elektrisirter Körper während ihrer Entladung.

(Fortsetzung.)

Dritter Abschnitt.

Mechanismus der elektrischen Entladung und ihrer Wirkungen.

Vierter Abschnitt.

Wirkung des Schliefsungsbogens der Batterie in die Ferne.

Seite

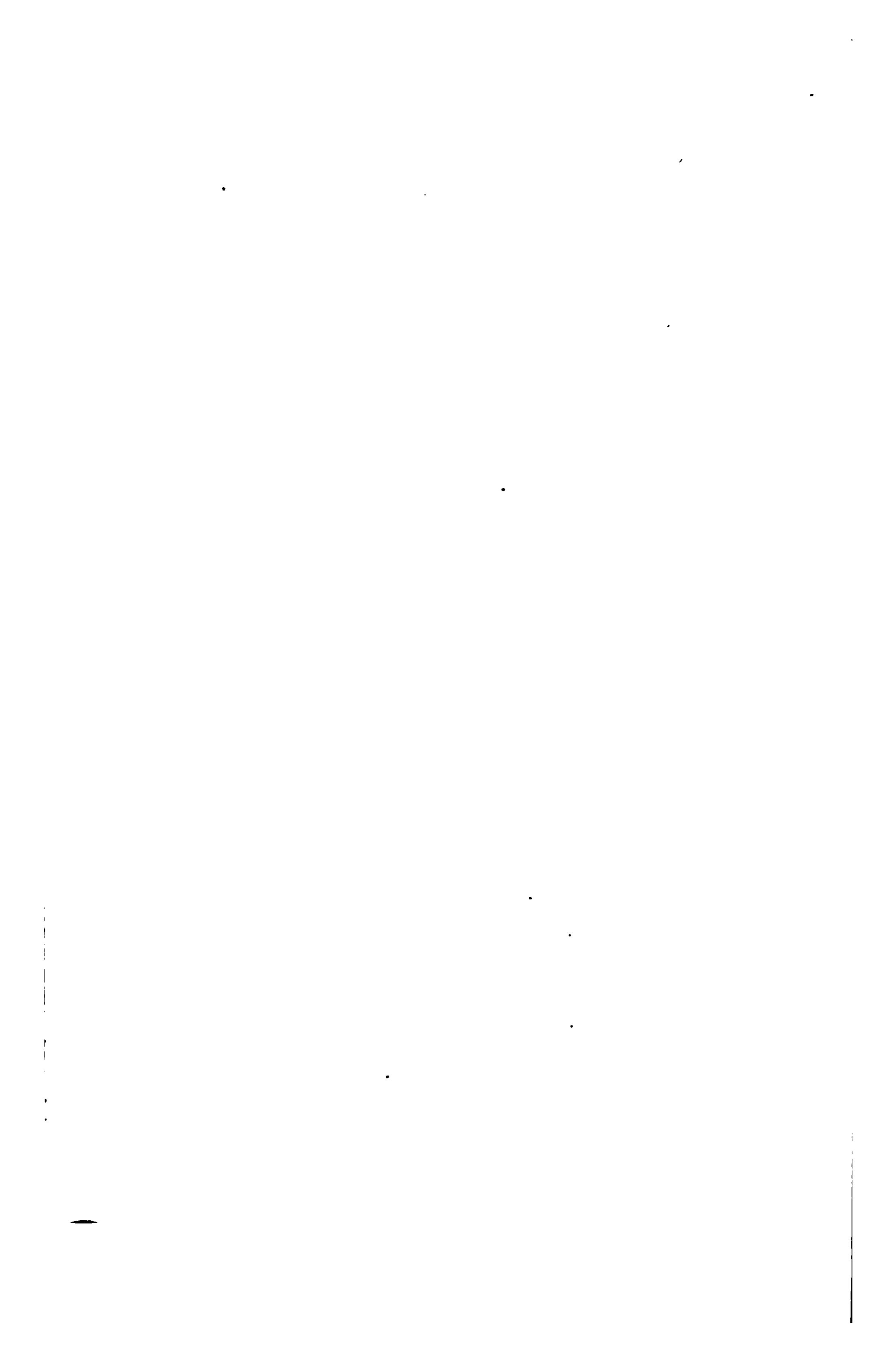
Fünfter Abschnitt.
Die Erregung der Elektricität.

Sechster Abschnitt.
Die atmosphärische Elektricität.

Zweiter Abschnitt.

Wirkungen elektrisirter Körper während ihrer Entladung.

(Fortsetzung.)



Viertes Kapitel.

Die mechanische Wirkung der Entladung. Glühen und Schmelzen.

Bei den bisher betrachteten Wirkungen des Entladungsstromes sind nur Ladungen der Batterie von geringer Dichtigkeit gebraucht worden, und die Beschaffenheit des Schliefsungsbogens wurde durch die Versuche nicht geändert. Steigert man die Ladungen bis zu einer gewissen Stärke, so wird der Schliefsungsbogen während der Entladung verbogen, zerrissen, zerschmettert, und Theile desselben werden mit grofser Gewalt umhergeworfen, je nach der Beschaffenheit des Bogens und der Stärke der angewandten Ladung. Auch durch die Entladung nicht veränderte Körper können eine Erschütterung erlitten haben, wie man an Stahlnadeln sieht, die durch einen starken Entladungsschlag in derselben Weise magnetisch werden, als ob sie mit einem Hammer geschlagen worden wären (§. 519.). Die mechanische Wirkung der Entladung läfst sich an jedem beliebigen Schliefsungsbogen hervorbringen, wenn man die dazu nöthige Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie zu erreichen vermag. Je weniger Masse, einen je kleineren Querschnitt der Bogen besitzt, desto leichter ist er durch die Entladung zu zerstören. Einen eigenthümlichen Einflufs hat die Materie des Schliefsungskörpers auf die mechanische Wirkung. Die Stoffe, welche wir als die leitenden bezeichnet haben, lassen die augenblickliche Entladung von Elektricität 549

[549] geringer Dichtigkeit zu, und man kann daher, wenn sie zur Schliefsung der Batterie gebraucht werden, in ihnen einen Entladungsstrom ohne mechanische Wirkung erhalten, die erst durch Steigerung der Dichtigkeit hervorgebracht wird. Die sogenannten isolirenden Stoffe hingegen leiten nur einen Entladungsstrom, der schon eine gewisse Dichtigkeit besitzt, dann aber stets mit mechanischer Wirkung und Lichterscheinung; man erhält bei ihrer Anwendung entweder keinen Entladungsstrom, oder einen mechanisch wirkenden. Auf den scheinbaren Widerspruch, dafs man, obgleich ein besserer Isolator eigentlich nur einen schlechteren Leiter bezeichnet, bei den Leitern zur mechanischen Wirkung eine desto stärkere Ladung bedarf, je vollkommener der Leiter, und bei den Isolatoren, je vollkommener der Isolator ist, werde ich in dem Kapitel über den Mechanismus der Entladung näher eingehen (§. 658.).

Mechanische Wirkung der Entladung.

550 Auf luftförmige Isolatoren. Ist der Schliefsungsbogen der Batterie an einer Stelle unterbrochen, so wird die Luft- oder Gasmasse, die sich in der Unterbrechung befindet, durch die Entladung unter Funkenerscheinung durchbrochen und mit Heftigkeit nach allen Seiten geschleudert. Diese bewegte Masse bringt die umgebende Luft zu einer Bewegung, durch welche leichte in der Nähe befindliche Körper, Oblaten-, Korkstücke, Pulver, zerstreut und aus einander gefegt werden [1]). Hat man eine Luftmasse in ein Gefäfs eingeschlossen und durch eine Flüssigkeit gesperrt, so verändert die Luftbewegung, bei der Entladung durch einen Theil der Luft, den Stand der Flüssigkeit. Dies hat zuerst Kinnersley gezeigt, indem er den Entladungsfunken durch einen mit Luft gefüllten Cylinder schlagen liefs, an dessen Boden sich Flüssigkeit befand, die durch die Luftbewegung in eine vertical gestellte Röhre getrieben wurde. Man kann zu diesem Versuche das elektrische

---

[1]) *Priestley in: philos. transact.* 1769 *abridg.** 12. 601 (*philos. transact. abridged by Hutton, Shaw, Pearson* 18 *Vol.* 4. *Lond.* 1809.).

Luftthermometer (Fig. 97.) benutzen, indem man von jeder [550] der beiden Fassungen einen kurzen Metallstab in die Kugel treten läfst, so dafs zwischen den abgerundeten Enden der Stäbe ein kleiner Zwischenraum bleibt. Die Thermometerröhre wird am besten mit Wasser gefüllt, nicht mit Alkohol, da sonst in der Kugel leicht eine entzündliche Luft gebildet und die Kugel, wie es mir geschehen ist, bei dem Versuche gesprengt wird. Aber auch bei dieser Vorsicht darf man den Luftraum zwischen den Stäben nicht grofs nehmen, da sich die Erfahrung angemerkt findet, dafs bei einer Länge des Entladungsfunkens von $\frac{1}{4}$ Zoll die Ausdehnung der Luft stark genug ist, einen Korkpfropfen mit Heftigkeit aus einer Flasche zu treiben. Knochenhauer[1]) verband den einen Ansatz des Thermometers mit der inneren, den andern mit der äufseren Belegung einer Batterie, und beobachtete die Senkung der Flüssigkeit in der Thermometerröhre bei verschiedener Ladung der Batterie, die nach der Flaschenzahl s und der, durch eine Maafsflasche gemessenen, Elektricitätsmenge q beurtheilt wurde. Diese Senkung war proportional mit $\frac{q^2}{s}$. Da jedoch bei Veränderung der Dichtigkeit $\left(\frac{q}{s}\right)$ die Länge der von der Entladung in der Thermometerkugel durchbrochenen Luftstrecke in gleichem Verhältnisse geändert werden mufste, so folgt aus diesem Versuche, dafs die Senkung der Flüssigkeit bei constanter Luftstrecke der Elektricitätsmenge einfach proportional war. Dies bestätigte sich bei einem Versuche, wo die Entfernung der Drathenden im Thermometer ungeändert gelassen, und verschiedene Elektricitätsmengen durch einen Entladungsapparat entladen wurden. Es läfst sich übrigens aus diesen Versuchen kein Schlufs auf die durch den Funken verdrängte Luftmasse ziehen, weil dabei Wärme frei wird, wie sich durch das langsame Aufsteigen der Flüssigkeit zu ihrem anfänglichen Standpunkte deutlich zeigt.

Die durch die Entladung erzeugte Luftbewegung giebt 551 eine sehr regelmäfsige Zerstreuung von Pulvern, die auf eine in der Nähe des Schliefsungsbogens befindliche Fläche gestreut

[1]) Poggend. Ann.* 58. 229.

[551] sind. Abria[1]) brachte die Spitzen eines allgemeinen Ausladers 15 Millimeter auseinander, und siebte Kreidepulver auf eine 30 Millimeter darunter liegende Metallplatte. Nachdem eine stark geladene Flasche einigemal durch den Auslader entladen war, zeigten sich in dem Kreidepulver sehr zarte, an einander gereihte Linien bis zu einer Entfernung von 15 Centimeter von der Projection der Verbindungslinie der Spitzen. Die Linien standen beinahe senkrecht auf dieser Projection, und kreuzten sich vielfach. Lichtenberg, der die Erscheinung lange zuvor beobachtet hatte, vergleicht die Zeichnung im Kreidepulver dem Chagrin. Andere Entfernungen der Spitzen von einander gaben die Linien in anderer Ausdehnung. Sie bildeten sich in gleicher Weise in verschiedenen Pulvern und auf den verschiedensten Unterlagen, wie Holz, Glas, Marmor; nur mufsten, je dichter das angewandte Pulver war, desto stärkere Entladungen gebraucht werden. Auch in Gasen und verdünnter Luft bildeten sich die Linien, mit Anwendung von Kreidepulver jedoch nur, wenn der Luftdruck über 5 Millim. betrug, mit Magnesiapulver noch bei 2 Millim. Druck. Dafs die Linien allein durch eine Luftbewegung entstanden und keine elektrische Einwirkung dabei im Spiele war, zeigte Abria, indem er ähnliche Linien erzeugte durch Knallerbsen oder besser durch Seifenblasen, die, mit Knallluft gefüllt, über einer mit Staub bedeckten Marmortafel entzündet wurden.

552 Nach den beigebrachten Versuchen geht die durch eine Entladung erzeugte Luftbewegung von den erschütterten Punkten nach allen Seiten und nicht nach einer bestimmten Richtung; das Letztere ist aus einem Versuche geschlossen worden, den ich, obgleich er nicht hieher gehört, anführe, weil er wiederholt zum Beweise der Existenz von nur Einer Elektricitätsart gebraucht worden ist. Henley[2]) stellte eine angezündete Wachskerze zwischen zwei isolirte Kugeln, die 2 Zoll von einander entfernt standen, und entlud eine Flasche, indem er die eine Kugel (die äufsere) mit einer, zur äufseren Bele-

---

[1]) *Annales de chimie et de phys.** 74. 186. Poggend. Ann.* 53. 589.
[2]) *Phil. transact.* 1774. — *abridg.** 13. 555.

gung der Flasche gehenden Kette verband, und den Knopf [552] der Flasche an die andere Kugel (die innere) anlegte. War die Flasche mit positiver Elektricität geladen, so wurde die Flamme zur äuſseren Kugel geweht und beruſste diese, war sie mit negativer Elektricität geladen, zur inneren. Der Luftstrom ging also scheinbar in beiden Fällen von der positiv zur negativ elektrischen Kugel. Der Versuch gelang nur, wenn die Flasche sehr schwach geladen war. — Es fand hier kein Entladungsstrom in der früher betrachteten Weise statt, sondern die Elektricität wurde durch die Flamme allmälig von der inneren zur äuſseren Belegung der Flasche übergeführt. Dann aber hätte der Luftstrom, wie auch die Flasche geladen war, von der inneren zur äuſseren Kugel gerichtet sein müssen. Brande[1]) hat gezeigt, daſs die Bewegung der Flamme nicht allein von dem Luftstrome, sondern auch von einer elektrischen Einwirkung abhängt, die nach der Natur der Flamme nach der einen oder anderen Seite gerichtet ist. So wurden die kohlenstoffhaltigen Flammen, die Flamme des Wasserstoffes, der Benzoësäure von der negativen, die Flamme des Phosphors, Schwefels, Phosphor- und Schwefelwasserstoffes von der positiv elektrischen Kugel angezogen. Es ist also hier eine chemische oder elektroskopische Wirkung mit der mechanischen verbunden (§. 957.).

553 Mechanische Wirkung auf feste Isolatoren. Ein fester Isolator, der einen Theil des Schlieſsungsbogens bildet, wird durch eine hinlänglich starke Entladung durchbohrt und zerschmettert. Man stellt den Versuch am leichtesten an, indem man an Henley's Auslader (Fig. 86.) gerade Spitzen anschraubt und zwischen dieselben eine Holz-, Glas- oder Glimmertafel fest einklemmt. Das Holz wird gewöhnlich gespalten und in Stücken umhergeworfen, durch Glas und Glimmer wird mit einem Funken und Knalle ein Loch geschlagen, dessen Ränder undurchsichtig sind, da in ihnen die Masse zu Pulver zermalmt worden ist. Van Marum hat in dieser Weise einen Buchsbaumcylinder von 3 Zoll Höhe und Durchmesser

---

[1]) *Phil. transact.* 1814. 51. *Abstract. of phil. tr.** 1. 480. Schweigger Journal d. Chemie.* 11. 67.

[553] gespalten. Der Versuch ist indeſs bei Glas und Glimmer nicht ganz sicher, da häufig dieselbe Ladung der Batterie in einem Falle ein Loch schlägt, in einem ganz ähnlichen über die Oberfläche der Platte geht, ohne die Masse zu durchbohren. Will man des Erfolges sicher sein und zugleich die Durchbohrung bei der geringsten Ladung erhalten, so schraubt man an die Arme des Ausladers Spitzen, die im rechten Winkel umgebogen sind, legt die Platte horizontal zwischen beide Spitzen, und bringt einen Tropfen Olivenöl an der oberen Spitze an. — Werden die Spitzen des Ausladers in einiger Entfernung von einander auf dieselbe Fläche einer isolirenden Platte gesetzt, so geht der Entladungsfunke über die Oberfläche der Platte fort und zeichnet seinen Weg mit einer unauslöschlichen Spur. Auf hartem Glase, Bergkrystall und anderen harten Mineralien sind diese Spuren matt, einfach grau und knirschen unter dem Fingernagel, ganz in der Weise, als ob die Politur der Fläche durch groben Sand fortgescheuert wäre. Auf weichem Glase, Glimmer, Fraueneis und weichen Krystallen haben die Spuren eine andere Beschaffenheit, die auf eine chemische Aenderung der Materie in einiger Tiefe deutet, die ich in dem Kapitel über die elektrischen Figuren (§. 773.) näher betrachten werde. Auch auf hartem Glase ist die chemische Aenderung nicht von der mechanischen ausgeschlossen, da Simon[1]) gezeigt hat, daſs geröthetes Lackmuspapier, auf den rauhen Spuren gerieben, stark blau gefärbt wird, was einer Abscheidung des Alkali's aus dem Glase zuzuschreiben ist.

554 Lockere unvollkommene Isolatoren, namentlich Papier und Baumwolle, werden von dem Entladungsschlage leicht durchbohrt. Die hieher gehörigen Versuche sind früher mit groſser Aufmerksamkeit verfolgt worden, da man in ihnen Beweise für und gegen die Existenz zweier Elektricitätsarten zu sehen glaubte. Symmer[2]) untersuchte ein Buch Papier, das Franklin durch den Entladungsschlag einer leydener Batterie durchbohrt hatte, und fand das Loch im ersten und letzten

[1]) Gilbert Annalen.* 30. 57.
[2]) *Philos. transact.* 1759. *pap. IV.* — *abridg.** 11. 415.

Blatte mit auswärts gerichteten Rändern, als ob das Buch von [554] zwei Pfriemen in entgegengesetzter Richtung durchbohrt wäre. Dieselbe Erscheinung wird erhalten, wenn man eine rohe Pappe lose zwischen die Spitzen des allgemeinen Ausladers setzt; die Entladung schlägt ein Loch durch die Pappe, das an beiden Flächen einen erhabenen Rand zeigt. Daraus ist aber nur zu schliefsen, dafs die mechanische Wirkung sich nach allen Seiten äufsert und keine bestimmte Richtung hat. Ein Flocken zusammengedrückter Baumwolle, in dem Auslader angebracht, wird durch die Entladung nach allen Seiten zerzaust und aufgelockert; liegt die Baumwolle aber in einer engen Röhre, so kann die Auflockerung nur an den freien Enden geschehen. Ein Gleiches lehrt der Versuch mit der durchlöcherten Pappe; die Papierfasern werden durch den Versuch dahin gerichtet, wo sie keinen Widerstand finden, also senkrecht gegen die Flächen der Pappe. Wenn man aufeinandergeschichtete Papierblätter durch eine starke Entladung durchbohrt, so bilden die einzelnen Löcher in den Papieren ziemlich eine gerade Linie. Hat man aber zwischen die Papiere ein Stanniolblatt gelegt, so ist, nach Tremery[1]), der Durchbohrungskanal der Papiere auf der einen Seite der Papiere nicht die Verlängerung des Kanals auf der andern Seite, und das Stanniolblatt wird an zwei Stellen durchbohrt. Besonders merkwürdig ist der folgende von Lullin[2]) angestellte Versuch. Man bringe eine Spielkarte so zwischen die ½ Zoll von einander entfernten Spitzen des Ausladers, dafs die Spitzen die entgegengesetzten Flächen der Karte berühren. Bei der Entladung der Batterie geht der Funke stets von der Spitze aus, die mit der positiv elektrisirten Belegung verbunden ist, über die Fläche der Karte fort, und durchbohrt sie in der Nähe der negativen Spitze. Bequemer wird der Versuch, wenn man, nach Pictet's[3]) Angabe, die beiden Seiten einer Karte mit zwei Dreiecken aus Stanniol belegt, deren Basen die entgegengesetzten Ränder der Karte berühren, und deren Spitzen etwa 1 Linie auseinander stehen. Bringt man die Karte in den Schliefsungsbogen

[1]) Gilbert Annalen* 32. 313.
[2]) *Dissertatio physica de electricitate. Genev.* 1766.
[3]) Gilbert Annalen* 43. 218.

[554] der Batterie, so wird sie in der Nähe der Spitze des Dreiecks durchbohrt, das mit der negativen Belegung der Batterie in Verbindung steht. Tremery [1]) wiederholte den Versuch unter der Glocke einer Luftpumpe, in welcher die Luft bis 5 Zoll Druck verdünnt war. Hier ging der Funke von beiden Spitzen aus, und die Durchbohrung der Karte geschah nahe in der Mitte zwischen den Spitzen. Dieser Versuch hängt mit den Lichterscheinungen zusammen, die eine Spitze zeigt, je nachdem sie positiv oder negativ elektrisirt ist; ich werde später eine Erklärung dieser Erscheinungen versuchen (§. 751.).

555 Wirkung der Entladung in Flüssigkeiten. Diese Wirkung ist der in festen Körpern analog, nur daſs sie durch die Eigenthümlichkeit der Flüssigkeiten, einen an einer Stelle angebrachten Druck nach allen Seiten fortzupflanzen, in hohem Grade verstärkt wird. Durch isolirende Flüssigkeiten wie Olivenöl, Schwefeläther, Terpenthinöl geht die Entladung nicht anders hindurch als mit Funken und mechanischer Wirkung, durch leitende Flüssigkeiten, Wasser, Alkohol, Säuren und Salzlösungen auch ohne diese Erscheinungen. Das Gefäſs, das die Flüssigkeit enthält, erleidet dabei an seinen Wänden einen starken Druck, und wird oft zerbrochen. Man gebraucht zu dem Versuche am besten eine breite hölzerne Büchse, in welche Dräthe von den Armen des Ausladers geführt werden, deren Enden einen kleinen Raum zwischen sich frei lassen. Bei hinlänglicher Ladung geht der Entladungsfunke durch die Flüssigkeit, von der ein Theil mit Heftigkeit in die Höhe geworfen wird. Obgleich hier die Flüssigkeit nach oben frei ausweichen kann, so darf man den Funken nicht zu groſs werden lassen. Ich habe gesehen, daſs eine solche Büchse durch einen $\frac{1}{2}$ Linie langen Funken mit gröſser Gewalt umgekehrt wurde. Befindet sich die Flüssigkeit in einer verschlossenen Röhre, durch deren Ende die Leitungsdräthe gehen, so wird die Röhre durch einen Funken von mäſsiger Länge zerschmettert. Auf diese Weise hat Singer Glasröhren zerbrochen, die $\frac{1}{2}$ Zoll Glasdicke besaſsen.

---

[1]) Gilbert Annalen* 23. 426.

556 Wirkung auf gute Leiter. Die Metalle werden durch die Entladung zerstäubt, und üben dabei eine grofse Gewalt auf die sie einschliefsenden Körper aus. Ein gläsernes mit Quecksilber gefülltes Haarröhrchen, das eine bedeutende Glasdicke besitzen kann, zersplittert bei der Entladung der Batterie durch das Quecksilber. Ein Goldblattstreifen wurde von Franklin[1]) zwischen zwei Glastafeln gelegt, die mit Gewichten beschwert wurden; das Gold zerstäubte, und die Platten wurden häufig zersplittert. Läfst man die zersprengten Metalltheilchen auf luftförmige oder tropfbare Flüssigkeiten wirken, so werden grofse mechanische Wirkungen hervorgebracht. Nelis[2]) brachte in einer ½ Zoll weiten Glasröhre zwei dicke Dräthe an, die durch einen 1 bis 1½ Zoll langen, sehr dünnen Eisendrath verbunden waren. Eine Batterie-Entladung, die den dünnen Drath zerstäubte, sprengte die Röhre, deren Stücke weit umhergeschleudert wurden. War der Drath mit Papier umgeben, so wurde dies zerrissen, die Röhre aber nicht beschädigt. Weit heftiger waren die Wirkungen, als der Drath, statt mit Luft, mit Wasser oder Oel umgeben war. So wurden Pistolenläufe aufgerissen, die mit Wasser oder Oel gefüllt waren, in welchen ein dünner Bleistreifen durch die Entladung zerstäubte. Die mechanische Wirkung ist überall mit Wärmeentwickelung verbunden, die bei den Metallen Glühen und Schmelzen hervorbringt. Eine Betrachtung der durch stufenweise gesteigerte Ladungen erzeugten Wirkungen ist hier besonders lehrreich; ich will sie ausführlicher nach meinen eigenen Untersuchungen[3]) mittheilen.

Glühen und Schmelzen der Metalle.

Erscheinungen vor dem Glühen.

557 Die Erwärmungen der Dräthe, die den Gegenstand des zweiten Kapitels dieses Abschnittes ausmachten, waren von keiner momentanen oder dauernden Aenderung im Ansehen

---

[1]) *Experim. and observat.** 69.
[2]) Gilbert Annalen* B. 24. 340. B. 69. 368.
[3]) Abhandl. d. Akad. d. Wissensch. Berl.* 1845. Poggend. Ann.* 65. 481.

[557] des Schliefsungsdrathes begleitet, weil nur verhältnifsmäfsig sehr schwache Ladungen der Batterie dazu gebraucht wurden. Stärkere Ladungen bringen solche Aenderungen in sehr auffallender Weise hervor, die ich der Reihe nach beschreiben will, wie sie der immer höher gebrachten Ladung zukommen. Die erste mechanische Wirkung, die ein im Schliefsungsbogen angebrachter dünner Drath erfährt, besteht in einer merkbaren Erschütterung des Drathes und in dem Losreifsen von Metalltheilchen von seiner Oberfläche, die sich in Gestalt eines dichten grauen Dampfes von ihm erheben. Zugleich erscheinen dabei Funken an den Stellen, wo der Drath in den Schliefsungsbogen eingefügt ist. Gröfsere Metalltheile, die an diesen Stellen losgerissen und fortgeschleudert werden, erglühen dabei und geben den Funken ein sprühendes Ansehen. Diese Erscheinungen fehlen zwar niemals, aber sie sind in Betracht ihrer Stärke nicht constant. Die Erschütterung ist um so sichtlicher, je beweglicher der Drath ist, und die Gröfse der Funken an den Enden hängt vom Materiale des Drathes und der Befestigungen ab. In Versuchen, wo der Drath in Federklemmen aus Glockengut (§. 366.) lag, erschienen die Funken kräftig an Dräthen aus Platin, Palladium, Neusilber, minder glänzend bei Silber und Messing, bei Kupfer sind sie nicht bemerkt worden. Das Sprühen der Funken hängt von der Sprödigkeit des Metalles und seiner Oxydirbarkeit ab; es ist bei Silber nicht eingetreten, bei anderen Metallen nur mit kurzen Strahlen, bei dem Eisen in gröfster Ausdehnung. Viel constanter als das Auftreten der Funken ist die Bildung der Dampfwolke, die bei keinem Metalle gefehlt hat. Die Leichtigkeit, mit welcher der Dampf gebildet wird, variirt zwar von einem Metalle zum andern, aber in nicht höherem Maafse, als es bei verschiedenen Dräthen desselben Metalles der Fall ist. Eine gewisse Sorte Platindrath gab so reichlichen Dampf, dafs bei der ersten Entladung sich jedesmal ein Dampfstreifen von der Länge des Drathes bildete, bei anderen Sorten kamen nur einzelne abgegränzte Dampfflocken zu Stande. Zuweilen findet die Dampfbildung nur bei Einer Entladung statt und fehlt bei den folgenden Entladungen; zuweilen tritt sie auch bei aufeinander folgenden steigenden Entladungen ein, dann aber in

abnehmender Stärke. Dieselbe hängt wesentlich von der Oberflächenbeschaffenheit des Drathes ab; ich habe öfter bemerkt, dafs nach sorgfältigem Poliren eines Drathes die Dampfbildung in geringerer Stärke eintrat, als sie sonst der Drathsorte eigen war. [557]

558 Diese vorübergehenden Aenderungen am Drathe sind von manchen Zufälligkeiten abhängig. Ein besser gezogener, inniger befestigter Drath zeigt die Funken, den Dampf, die Erschütterung erst bei Anwendung einer gröfseren Elektricitätsmenge, als ein anderer weniger sorgfältig behandelter Drath. Durch fortgesetzte Steigerung der Ladung erhält man eine constant auftretende und bleibende Aenderung am Drathe, welcher bei einer bestimmten Entladung plötzlich wie von einem kantigen Instrumente eingedrückt erscheint. Bei der ersten wirksamen Entladung ist diese Einbiegung nur klein, eine Unterbrechung der glänzenden Lichtlinie, die ein polirter Drath im Tageslichte zeigt; durch Wiederholung der Entladung oder Steigerung derselben vertieft sich die Biegung immer mehr und bildet sich zu einem mefsbaren Winkel aus mit Linien langen Schenkeln. In den folgenden Versuchen wurden diese Biegungen durch ziemlich schwache Ladungen hervorgebracht. Es war ein dünner Platindrath (rad. 0,021 Linie) in dem Schliefsungsbogen angebracht, die Batterie bestand aus drei Flaschen, die Elektricitätsmenge wurde durch die Maafsflasche (§. 386.) gemessen, deren Kugeln $\frac{1}{2}$ Linie von einander entfernt standen, und von welcher zwei Entladungen zur Einheit genommen wurden.

Elektricitäsmenge.	
8	ein Funke an der äufseren Befestigung des Drathes
9	Erschütterung, Einbiegung
10	letztere vertieft
10	dasselbe, neue Biegungen.

559 Vier andere Platin- und zwei Eisendräthe, die gleichfalls nur wenigen Entladungen ausgesetzt wurden, erhielten tiefe mefsbare Einbiegungen. Ueberall, wo die Einbiegung ungehindert stattfindet, ist sie stumpfwinklig, ich habe sie in mehreren Fällen gemessen, und wenig von 110 Grad entfernt gefunden. Weder die Dimensionen noch das Material des Drathes

[559] bringen hierin einen Unterschied hervor, wie die Winkel in einem dicken Platindrathe (rad. 0,0405 Lin.) in einem Eisen- und einem Kupferdrathe zeigten. Erschwert und theilweise verhindert wird die Winkelbildung, wenn der Drath in gerader Linie ausgespannt, oder in einem stark gewölbten Bogen einer groſsen Spannung ausgesetzt ist. Alsdann entstehen, statt der tiefen Einbiegungen, nur schwache Verdrückungen in groſser Zahl, die leicht der Beobachtung entgehen; zuweilen auch reiſst der Drath an der Stelle, wo der Winkel sich gebildet haben würde, und der Drath nachzugeben verhindert worden ist. Aus gleichem Grunde ist der schon gebildete Winkel dem nun sich bildenden ein Hinderniſs, und es entstehen so die mannigfachen Verzerrungen des Drathes, der zuletzt ein wellenförmiges geripptes Ansehen erhält. Dies wellenförmige Ansehen wird auch durch wiederholte Entladungen der Elektricitätsmenge hervorgebracht, die den Drath in Glühen versetzt. Alle zu diesen Versuchen von mir gebrauchten Dräthe lagen in einem wenig gekrümmten Bogen; wären sie an einem Ende aufgehängt, an dem andern mit einem Gewichte beschwert gewesen, so würden an ihnen nur sehr schwache Einreifungen hervorgetreten sein. Hierdurch wird der auffallende Umstand erklärt, daſs, soviel man sich auch früher mit der Schmelzung durch Elektricität beschäftigt hat, die Einbiegungen erst im Jahre 1837 von mir bemerkt worden sind.

560 Eine Folge dieser Einbiegungen ist die Verkürzung der Dräthe, durch welche elektrische Entladungen gegangen sind, die man lange Zeit hindurch einer Vergröſserung des Drathdurchmessers zugeschrieben hat. Nairne[1]) entlud eine stark geladene Batterie 15mal durch einen 10 Zoll langen 0,12 Lin. dicken Eisendrath, welcher danach 8,9 Zoll maſs, also um mehr als 1 Zoll verkürzt war. Van Marum verkürzte einen 18 Zoll langen Eisendrath von 0,109 Lin. Halbmesser durch eine einzige Entladung um $\frac{1}{4}$ Zoll. — Ich brachte einen Platindrath von 0,0286 Lin. Radius im Schlieſsungsbogen an, durch den ich zehn starke Entladungen der Batterie ausführte. Vor dem Versuche betrug die Länge des Drathes 77,5 nach

[1]) *Philosoph. transact. f.* 1780.* 334.

demselben 72,3 Lin. Die scheinbare Verkürzung von 5,2 Lin. [560]
wurde gröfstentheils beseitigt, als der Drath durch die Finger gezogen war, wonach er 75,9 Lin. mafs. Es blieb nicht zweifelhaft, dafs auch jetzt noch der Drath nicht gerade war, so dafs die zurückgebliebene Verkürzung nicht auffallen konnte. Durch ähnliche Versuche überzeugte ich mich, dafs überall die scheinbare Verkürzung von Dräthen durch Einbiegungen hervorgebracht wird, die unter Umständen klein genug sein können, um der oberflächlichen Betrachtung zu entgehen. Diese wenig merklichen Biegungen entstehen an straff gespannten Dräthen und durch Entladungen von solcher Stärke, dafs der Drath in Glühen geräth. — Ein frei hängender, durch Gewichte gespannter Drath kann auch durch hinlänglich starke Entladungen an Länge zunehmen. Kinnersley[1]) hängte ein Pfundgewicht an eine 24 Zoll lange Klavierseite, und fand sie um 1 Zoll verlängert, nachdem eine Entladung jene glühend gemacht hatte. Dies ist eine rein mechanische Wirkung des Gewichts auf den durch das Glühen erweichten Drath.

Gesetze des elektrischen Glühens.

Stärke der Ladung. Steigert man die Entladung, 561
durch die ein Drath die ersten Einbiegungen erhält, so kommt er ins Glühen. Die Abhängigkeit dieser Erscheinung von ihren Bedingungen läfst sich am leichtesten übersehen, wenn man in den Schliefsungsbogen, der den zu glühenden Drath enthält, ein elektrisches Thermometer einschaltet und beobachtet, dessen Drath aber so gewählt ist, dafs die Entladung keine mechanische Wirkung auf ihn äufsert. In den folgenden Versuchen enthielt das Thermometer einen Platindrath, dessen Radius 0,058 bis 0,116 Lin., und dessen Länge 60 bis 97 Lin. betrug. Für die Elektricitätsmenge sind, wie bei dieser Untersuchung überall, zwei Funken der Maafsflasche von ½ Lin. zur Einheit angenommen. Die Reihen geben bei verschiedener Flaschenzahl die Ladungen und die im Thermometer bewirkten Erwärmungen an, indefs ein dünner Platindrath in ein am Tage sichtbares Glühen versetzt wurde.

---

[1]) *Franklin Experim. and observat.* 399.

[561]

Flaschenzahl.	Elektricitätsmenge.	Erwärmung d. Thermometers.
5	12	20,9
	—	20,0
3	10	
2	8	20,3
3	10	21,6
4	11	21,8
5	12	20,2
	—	20,7

Ein anderer Platindrath derselben Sorte und Länge ergab Folgendes:

2	8	20,7
7	14	20,4
2	8	20,2
	—	20,7

562 Aus diesen Versuchen folgt, dafs das Glühen eines Drathes, ebenso wie seine Erwärmung, abhängig ist von dem Producte der angewandten Elektricitätsmenge in ihre Dichtigkeit. Hat man daher in einem bestimmten Schliefsungsbogen die zum Glühen eines Drathes nöthige Elektricitätsmenge und Flaschenzahl gefunden, so ist die Gröfse jenes Productes gegeben, und es läfst sich für eine beliebige Flaschenzahl die Elektricitätsmenge berechnen, die zum Glühen desselben Drathes erforderlich ist. In den angeführten Versuchen ist dies Product im Mittel 31, so dafs die für s Flaschen zum Glühen nöthige Elektricitätsmenge den Ausdruck hat $q = \sqrt{31 \cdot s}$. Hiernach ist

für die Flaschenzahl	2	3	4	5	7
q berechnet	7,9	9,6	11	12,4	14,7
beobachtet	8	10	11	12	14

Das angegebene Gesetz wird durch die Beobachtungen des Thermometers bestätigt, die bei allen Ladungen eine, für Versuche dieser Art, wo die Empfindlichkeit des Auges und die Beleuchtung von Einflufs sind, überraschende Constanz zeigen. Dadurch ist, nach dem Gesetze der Erwärmung, die Constanz des Productes der Elektricitätsmenge in ihre Dichtigkeit aufgezeigt. Da wir die Stärke des Entladungsstromes durch die Gröfse der Erwärmung messen, die jener in einem constanten Drathe hervorbringt (§. 491.), so läfst sich das gefundene Gesetz so aussprechen: Kommt ein Drath im Schlie-

ſsungsbogen durch die Entladung ins Glühen, so geschieht [562]
Dasselbe bei allen Aenderungen der Flaschenzahl und der Elektricitätsmenge, welche den Entladungsstrom ungeändert lassen.

Glühen nach der Länge des Drathes. Ein Platindrath, 15,7 Lin. lang, kam durch folgende Entladungen ins Glühen: 563

Flaschenzahl.	Elektricitätsmenge.	Erwärmung d. Thermometers.
4	12	8,3
	—	8,0
7	15	7,7

Ein Drath derselben Sorte, aber 77,5 lang, erglühte bei:

4	22	8,3
	—	8,0
	—	8,0

Die Stärke des Entladungsstromes war also dieselbe, obgleich die Länge des glühenden Drathes von 1 bis nahe das 5fache gesteigert war, und im letzten Versuche eine viel gröſsere Elektricitätsmenge entladen wurde, als im ersten. Es folgt hieraus: Die zum Glühen eines Drathes erforderliche Stärke des Entladungsstromes ist unabhängig von seiner Länge.

Hat man mit der Elektricitätsmenge q in s Flaschen eine Länge λ eines Drathes zum Glühen gebracht, so kann nach der Länge λ' desselben Drathes gefragt werden, die durch die Menge nq in ns Flaschen geglüht würde. Die Erwärmung eines Thermometers im Schlieſsungsbogen ist für den ersten Fall 564

$$\Theta = \frac{a}{1 + \frac{b\lambda x}{\varrho^2}} \cdot \frac{q^2}{s}$$

wo λ, ϱ, x Länge, Radius und Verzögerungskraft des zu glühenden Drathes bedeuten, und für den zweiten Fall

$$\Theta = \frac{na}{1 + \frac{b\lambda' x}{\varrho^2}} \cdot \frac{q^2}{s}$$

Da bei dem Glühen der Dräthe diese beiden Ausdrücke nach dem vorigen Paragraphe einander gleich sind, so kommt

$$\lambda' = n\lambda + (n-1)\frac{\varrho^2}{bx}$$

Hiernach wird durch n Flaschen mehr als die $n$fache Länge

[564] eines Drathes ins Glühen gebracht, der durch die Entladung Einer Flasche glüht, wenn die Dichtigkeit der entladenen Elektricität in beiden Fällen gleich ist. Je dünner der zu glühende Drath ist, und aus je besser leitenden Stücken der Schliefsungsbogen zusammengesetzt ist, desto näher kommt das Verhältnifs von λ' zu λ dem der zu dem Versuche gebrauchten Anzahl von Flaschen.

565 Glühen nach der Dicke des Drathes. Drei Platindräthe verschiedener Dicke wurden successiv neben dem Thermometer im Schliefsungsbogen angebracht; ich beobachtete bei behutsamer Steigerung der Ladung das erste Glühen der Dräthe und die gleichzeitige Thermometeränderung. Für andere drei Dräthe wurde ein weniger empfindliches Thermometer angewendet. Die folgende Tafel giebt die Aenderungen der Thermometer im Mittel aus drei Beobachtungen.

Drath.	Radius in Linien.	Thermometeränderung.
1	0,0181	9,0
2	0,02089	20,2
3	0,0261	43,0
Das Thermometer geändert.		
3	0,0261	5,8
4	0,02857	8,1
5	0,04053	31,0

Reducirt man mit Hülfe der doppelten Beobachtung am dritten Drathe die Angaben des ersten Thermometers auf die des zweiten, und berechnet die Erwärmung nach dem Ausdrucke $\theta = 1202 r^4$, wo r den Radius der Dräthe in Zehntellinien bedeutet, so hat man

	Erwärmung d. Thermometers beim Glühen.	
Drath.	beobachtet.	berechnet.
1	1,2	1,3
2	2,7	2,3
3	5,8	5,6
4	8,1	8,0
5	31,0	32,4

Die Uebereinstimmung zwischen der Beobachtung und Berechnung ist genügend, da zu den anderen Fehlerquellen bei diesen Versuchen die Schwierigkeit hinzutritt, bei verschieden dicken Dräthen über einen gleichen Grad des Glühens zu entscheiden. Es folgt daraus:

Die Stärke des Entladungsstromes einer Batterie, die [565] zum Glühen eines Drathes erfordert wird, ist dem Biquadrate des Radius desselben proportional.

Glühen verschiedener Metalle. Die Schwierigkeit, 566 einen bestimmten Grad des Glühens an verschiedenen Dräthen zu beobachten, wird bedeutend erhöht, wenn die Dräthe aus verschiedenem Metalle bestehen. Nicht allein, daſs die Farbe des Metalles seine geringere oder gröſsere Oxydirbarkeit die Beobachtung unsicher machen, so tritt noch der Umstand hinzu, daſs es bei einigen Metallen nicht leicht ist, den Drath glühend und unverletzt zu erhalten. Die Dräthe, die zu den folgenden Versuchen dienten, sind ohne chemische Prüfung angewendet worden, so daſs die erhaltenen Resultate nicht für reine Metalle gelten werden. Die Tafel giebt für die Thermometeränderung Mittelzahlen, die zumeist aus einer gröſseren Anzahl von Versuchen gezogen sind. Das bei den ersten fünf Versuchsreihen gebrauchte Thermometer wurde für die folgenden Reihen mit einem empfindlicheren vertauscht.

Metall d. Drathes.	Radius in Linien.	Thermometerangabe beim Glühen.	
Platin	0,03958	25,0	
Neusilber	0,04030	25,55	
Eisen	0,04006	19,42	
Palladium	0,03951	26,5	
Messing	0,02461	10,7	
Silber	0,02641		60,6
Eisen	0,0266		11,3
Kupfer	0,0253		61,5
Platin	0,0258		11,2
	0,03879		56,9
Messing	0,02461		21,4

Um den Einfluſs der verschiedenen Dicke der Dräthe fort- 567 zuschaffen, hat man nach §. 565 jede Thermometerangabe durch das Biquadrat des Halbmessers des zugehörigen Drathes zu dividiren. Man erhält dadurch Werthe der Erwärmung eines im Schlieſsungsbogen befindlichen Thermometers und relative Werthe der Stärke des Entladungsstromes, die zum Glühen von Dräthen gleicher Dicke und verschiedenen Metalles erfordert wird.

[567]

Es glüht:	bei der Stromstärke i
Eisen	0,816
Neusilber	0,950
Platin	1,
Palladium	1,07
Messing	2,59
Silber	4,98
Kupfer	5,95

Mit Hülfe dieser Tafel kann man, wenn das Glühen eines Drathes und die dabei stattfindende Thermometeränderung beobachtet ist, die Thermometeränderung berechnen, die bei dem Glühen eines andern Drathes eintreten wird. Es sei Thermometerangabe, Radius, relative Stromstärke

für den ersten Drath Θ r i

- - zweiten - Θ' r' i'

so hat man nach den vorhergehenden Paragraphen

$$\Theta' = \frac{i'}{i}\left(\frac{r'}{r}\right)^4 \Theta$$

Es sei zum Beispiel im Schliefsungsbogen ein elektrisches Thermometer um 10 Grad gesunken, während an einer andern Stelle ein Neusilberdrath von r Lin. Radius glüht; ein Kupferdrath von r' Lin. Radius wird glühen, wenn das Thermometer um $\frac{5,95}{0,95} 10\left(\frac{r'}{r}\right)^4$, also bei gleicher Dicke der Dräthe um 62,6 Grade gesunken ist.

568 Obgleich den Zahlen der mitgetheilten Tafel, der Natur der Versuche nach, keine grofse Genauigkeit zugeschrieben werden kann, so ist doch deutlich, dafs sie von der elektrischen Verzögerungskraft der Metalle abhangen, und im Allgemeinen wachsen, wenn diese abnimmt. Aufserdem hat die Wärmecapacität und das specifische Gewicht des Metalles auf diese Versuche Einflufs, der aber unter der Annahme, dafs das Glühen bei allen Metallen mit derselben Temperatur beginnt, nicht nach den Gesetzen der reinen Wärmeerregung (§. 468.) stattfindet. Wäre dies nämlich der Fall, so müfste die zum Glühen nöthige Stromstärke, in die Verzögerungskraft multiplicirt und durch das Product der Wärmecapacität in das specifische Gewicht dividirt, bei allen Metallen nahe denselben Quotient geben, was nicht geschieht. Auf das Glühen sind

noch andere Eigenschaften der Metalle, als die genannten, [568] von Einflufs, die nicht in Rechnung gesetzt werden können. Muthmafslich sind dies die Sprödigkeit und die Leichtigkeit, mit der die Metalle den Sauerstoff der Luft aufnehmen. Die leichter oxydirbaren Metalle: Eisen, Messing, Kupfer laufen vor dem Glühen mit verschiedenen Farben an. Die Zahlen der Tafel können daher nur als Constanten gelten, die empirisch zu bestimmen sind.

Erscheinungen nach dem Glühen.

569 Die Zerreifsung. Ein Platindrath von 0,0209 Lin. Radius, 10 Lin. lang, wurde in dem allgemeinen Auslader befestigt und steigenden Entladungen ausgesetzt.

Flaschenzahl.	Elektricitätsmenge.	
4.	9	der Drath glüht so eben.
	10	derselbe rothglühend.
	11	stark weifsglühend.
	12	er reifst in der Mitte ab.

Ein 16 Lin. langer Platindrath von 0,0261 Lin. Radius gab folgende Erscheinungen:

4	12	der Drath glüht.
	14	heftig glühend.
	15	weifsglühend.
	16	in drei hakige Stücke zerrissen.

Aehnliche Versuche gaben gleiche Resultate. Die Dräthe wurden durch eine bestimmte Entladung glühend, bei einer stärkeren weifsglühend, und wurden bei noch stärkerer Entladung von ihren Befestigungen losgerissen. Die Zerreifsung findet in der Nähe der Befestigungen häufiger statt, als entfernt davon, die im Schliefsungsbogen zurückbleibenden Drathstücke sind gewöhnlich sehr kurz, fehlen wol auch gänzlich; es macht sich dabei kein Unterschied der Enden des Schliefsungsbogens merklich, so dafs das längere Drathstück bald an dem einen, bald an dem andern Ende zurückbleibt. Der Anblick der zerstückten Dräthe lehrt, dafs hier wirklich eine Zerreifsung, keine Zerschmelzung vorliegt, wovon unten noch andere Beweise gegeben werden.

570 Die mitgetheilten Versuche zeigen, daſs die zur Zerreiſsung eines Platindrathes nöthige Elektricitätsmenge bedeutend gröſser ist, als die, welche zum ersten Glühen des Drathes hinreicht. Diese Elektricitätsmenge muſs sogar noch um etwas vermehrt werden, wenn sie bei der ersten Entladung eine Zerreiſsung bewirken soll. Ein Platindrath nämlich, der schon einige Stufen der Glühung durchgemacht hat, wird durch eine Entladung zerrissen, die einen neuen Drath erst in heftiges Weiſsglühen versetzen würde. Ferner müssen alle Dräthe, an welchen Glühversuche angestellt werden, im Schlieſsungsbogen schlaff liegen, da straff gespannte Dräthe oft durch eine geringe Elektricitätsmenge vor dem Glühen zerrissen werden, wie §. 559 bemerkt worden ist. Der Unterschied der zum Glühen und Abreiſsen nöthigen Elektricitätsmengen ist nach den Metallen sehr verschieden. Während dieser Unterschied bei Platin und Palladium ziemlich groſs gefunden wurde, ist er bei Kupfer kleiner, bei Silber und Eisen noch geringer, und bei Messing und Neusilber auſserordentlich klein. Bei Dräthen der beiden zuletzt genannten Metalle kommt es daher häufig vor, daſs, wenn bei ihnen eine Entladung das erste unzweideutige Glühen hervorbringt, die Wiederholung der Entladung schon eine Zerreiſsung bewirkt. Bei neuen Messing- und Neusilberdräthen kam es vor, daſs eine Steigerung der entladenen Elektricitätsmenge um kaum $\frac{1}{23}$ das anfangende Glühen in ein Zerreiſsen verwandelte.

571 Die Zersplitterung. Setzt man Dräthe einer stärkern Entladung aus, als der zu ihrer Zerreiſsung nöthigen, so werden sie unter Lichterscheinung in eine Menge kleiner Stücke zersplittert, die weit umhergeworfen werden. An den aufgesammelten Stücken läſst sich erkennen, daſs eine Zerschlitzung und Zersplitterung stattgefunden hat, und daſs eine Schmelzung nur secundär dabei auftritt. Ein Platindrath, 0,079 Lin. dick, 16 Lin. lang, wurde mit einer Glasröhre von $7\frac{1}{2}$ Lin. Weite umgeben, im Schlieſsungsbogen befestigt. Die Entladung der in 7 Flaschen angehäuften Elektricitätsmenge 22 brachte diesen Drath so eben ins Glühen, und die Menge 35 zerriſs ihn in Stücke, die in der Glasröhre gefunden wurden. Diese Stücke hatten an der Oberfläche deutliche Zeichen

von Schmelzung, und vier der gröfsten von ihnen waren zu [571] einer verschlungenen Figur zusammengelöthet, was darauf deutete, dafs sie heifs gegen einander und die Wandung der Röhre geschleudert worden waren. Aber die Enden aller Stücke waren nicht geschmolzen, die meisten erschienen schon dem Anblicke nach scharf zugespitzt. Ein ziemlich gerades Stück wurde unter ein Mikroskop gebracht; seine Oberfläche erschien höckerig, eine Messung mit dem Schraubenmikrometer gab den Durchmesser in der Mitte 0,081 Lin.
0,083 -
an dem einen Ende 0,022 -
0,029 -

Der Drath war also an diesem Stücke der Länge nach zerrissen worden. Dasselbe wurde an dem ungefähr 1 Lin. langen Drathstücke gefunden, das in der einen Klemme übrig geblieben war, die zur Befestigung des Drathes gedient hatte. Der Durchmesser des Drathes war an verschiedenen Stellen, die von der Klemme an gegen die Drathspitze zu lagen,
0,059 Lin.
0,013 -
0,009 -
0,005 -

Ein Platindrath von 0,042 Lin. Durchmesser wurde durch die in 3 Flaschen angehäufte Elektricitätsmenge 8 glühend, und durch die Menge 12 zerrissen. Ein schleifenförmiges Stück war an einem Ende deutlich der Länge nach abgerissen. Unter dem Mikroskope fand sich der dickste Theil dieses Endes 0,043, der dünnste 0,018 Lin. dick. Ein Drath gleicher Dicke, der durch die in 4 Flaschen angehäufte Elektricitätsmenge $12\frac{1}{2}$ zerrissen war, lieferte ein Stück, dessen Ende unter dem Mikroskope tief ausgezackt erschien.

572 Die oberflächlichen Schmelzungen, die in diesen Versuchen bemerkt wurden, lassen sich durch behutsame Steigerung der Entladung gänzlich vermeiden. Die folgenden Versuche wurden an Dräthen angestellt, die sich in der Mitte einer 7 Zoll hohen, $5\frac{3}{4}$ Zoll weiten Glasglocke befanden. Ein Platindrath 19 Lin. lang, rad. 0,0258 glühte durch die Elektricitätsmenge 12 in 5 Flaschen. Die Menge 17 zersplitterte ihn in viele

[572] Stücke, die keine Spur von Schmelzung zeigten. Ein Kupferdrath von 18 Lin. Länge, 0,0253 Lin. Halbmesser glühte durch die Elektricitätsmenge 23 in 5 Flaschen. Bei der Menge 27 rifs er hart an der mit der Aufsenseite der Batterie verbundenen Klemme, und an einer mehrere Linien von der inneren Klemme entfernten Stelle ab, und wurde in Stücke verwandelt, die zum Theil noch die durch die früheren Entladungen hervorgebrachten Biegungen zeigten. Bei Metallen, die unter der Glühhitze schmelzen, tritt die elektrische Zerreifsung ohne Glühen ein. Ein Zinndrath, 18 Lin. lang, wurde durch die in 5 Flaschen angehäufte Elektricitätsmenge 10 in kleine Stücke zerrissen. Ein Cadmiumdrath 20 Lin. lang, 0,0394 im Halbmesser, rifs durch die Elektricitätsmenge 12 in 5 Flaschen, und zersplitterte durch die Menge 15 in ziemlich gerade Stücke, die keine Schmelzung zeigten.

573 Die Schmelzung. Durch fortwährend gesteigerte Entladungen zersplittern die Dräthe in immer kleinere Stücke, diese schmelzen sodann an der Oberfläche und den Enden, und fliefsen zuletzt zu Kugeln zusammen. Ueberall werden die Dräthe hart an ihren Befestigungen abgerissen, die Stücke weit fortgeschleudert. Es ist nicht schwer, das erste Stadium des Schmelzens festzuhalten, und an demselben Drathe neben der Schmelzung die Zersplitterung aufzuzeigen. Alle folgenden Versuche wurden unter der Glasglocke angestellt, die zerstreuten Drathstücke auf einem untergelegten Papierblatte gesammelt. Ein Platindrath von 0,0258 Lin. Radius, 19 Lin. Länge wurde, bei Anwendung der Flaschenzahl $s = 5$, Elektricitätsmenge $q = 11$ glühend; $q = 20$ zersplitterte und schmelzte ihn. Viele, ungefähr $\frac{1}{2}$ Lin. lange Stücke hatten Kugeln an den Enden erhalten, aufserdem fanden sich einzelne Kugeln und ungeschmelzte Drathsplitter vor. Ein Silberdrath, rad. 0,0261, Länge 20 Lin., zersplitterte und schmolz bei $s = 6$ $q = 26$. Aufser einzelnen Kugeln wurden zum Theil verbogene und oberflächlich geschmelzte Splitter gesammelt. Ein Zinndrath (rad. 0,037, Länge 15 Lin.) wurde durch die Entladung bei $s = 5$ $q = 8$ von seinen Befestigungen losgerissen; ein neuer Drath zersplitterte durch die Elektricitätsmenge 15, und es blieben sichtbar geschmelzte Stücke davon zurück. Bei Anwendung

von $q = 20$ fielen Kugeln von dem Drathe ab, die, unter der [573] bekannten Feuererscheinung auf dem Papiere umherhüpfend, oxydirt wurden. Eine vollkommene Schmelzung von Dräthen gaben die folgenden Versuche. Ein Platindrath, von der zuletzt angewandten Sorte, wurde durch eine Entladung bei $s = 5$ $q = 22$ in viele kleine vollkommen runde Kugeln verwandelt. Ein Silberdrath (rad. 0,0264, Länge 19 Lin.) wurde mit $s = 6$ $q = 26$ zu Kugeln geschmelzt. Ein Kupferdrath (rad. 0,0253, Länge 16 Lin.) glühte bei $s = 6$ $q = 25$, und wurde durch die Entladung von $q = 30$ in einen Schauer äufserst feiner Kugeln verwandelt, die zum Theil nur mit der Lupe als Kugeln erkannt werden konnten. Ich habe mehrere vergebliche Versuche angestellt, das Kupfer in gröfseren Kugeln zu erhalten.

In dem letzten Versuche könnte es auffallen, dafs die zur 574 vollkommenen Schmelzung nöthige Ladung nicht bedeutend gröfser ist, als die, durch welche das erste Glühen des Drathes hervorgebracht wurde. Bei den leicht oxydirbaren Metallen wird die Temperatur gesteigert durch die Aufnahme von Sauerstoff aus der Luft, und es tritt daher zu der elektrischen Erhitzung eine chemische hinzu. Am auffallendsten zeigt sich dies bei dem Eisen, das oft bei Entladungen schmilzt, die direct nur ein mäfsiges Glühen erzeugt haben würden. Ein Eisendrath von 0,0266 Lin. Radius und 17 Lin. Länge, der bei $s = 3$ $q = 10$ das erste Glühen gezeigt haben würde, kam durch Entladung der Elektricitätsmenge 13 in starkes Glühen. Die Gluth hörte nicht, wie sonst überall, augenblicklich auf, sondern steigerte sich zur Weifsgluth; es tröpfelten einige Kugeln vom Drathe ab, und hüpften unter heftigem Funkensprühen auf der Unterlage umher. Die in den Klemmen zurückgebliebenen, einige Linien langen Stücke des Drathes schmolzen zu Kugeln, behielten aber die Lage, welche sie vor dem Versuche gehabt hatten. Ganz anders verhält sich der Eisendrath bei stärkeren Entladungen, selbst wenn diese nicht zur vollkommenen Schmelzung hinreichen. Ein Eisendrath von 0,04 Lin. Rad., 16 Lin. Länge kam bei $s = 7$ $q = 25$ zum Glühen. Bei $q = 30$ wurde er glühend zerrissen und zerflofs, so dafs 3 Kugeln, die hüpfend oxydirt wurden, und

[574] drei Stücke gesammelt werden konnten. Die langen, in den Klemmen zurückgebliebenen, Drathenden waren um diese gewaltsam herumgebogen, das eine Ende schmolz zu einer Kugel. Es ist bekannt, daſs dünne Eisendräthe, glühend aus dem Feuer genommen, wenn sie nicht früher an der Oberfläche oxydirt waren, sich bis zum Schmelzen erhitzen. Die mitgetheilten Versuche zeigen, daſs bei der elektrischen Schmelzung des Eisens die Aufnahme von Sauerstoff wesentlich mitwirkt, und es ist zu vermuthen, daſs dasselbe, wenn auch in geringerem Grade, bei jedem Metalle geschieht.

575 Die elektrische Schmelzung ist ein sehr complicirtes Phänomen, und eine Reihe der Metalle nach der Stärke des Entladungsstromes, die zu ihrer Schmelzung nöthig ist, aufzustellen, wird dadurch unthunlich, daſs nicht derselbe Grad des Schmelzens bei allen Metallen zu erzielen ist. Silber und besonders Kupfer ist nur in sehr feinen Kugeln, Messing und Neusilber gar nicht in Kugeln zu erhalten. Es würde also nur die Gröſse der geschmelzten Stücke zum Anhaltspunkt genommen werden können, die von vielen Zufälligkeiten abhängt. Im Allgemeinen ist zu merken, daſs bei allen Metallen die Schmelzung nach der Zerreiſsung eintritt und diese bei den Metallen, die ungeschmolzen glühen, nach dem ersten am Tage sichtbaren Glühen. Für die letzte Erscheinung sind die Gesetze oben gegeben worden.

576 Van Marum [1]) hat bemerkt, daſs eine bestimmte Ladung der Batterie erfordert wird, um eine gegebene Drathlänge zu schmelzen, daſs aber nur ein Theil der angesammelten Elektricitätsmenge zur Schmelzung verwendet wird, ein anderer Theil in der Batterie zurückbleibt. Ich habe die Gröſse dieses zurückbleibenden Theiles auf folgende Weise zu bestimmen gesucht. Ein Platindrath wurde in dem Schlieſsungsbogen angebracht und, wenn er zerstört worden, durch einen ganz gleichen Drath ersetzt. Bei der Entladung verschiedener Elektricitätsmengen traten folgende Erscheinungen ein.

---

[1]) Beschreibung einer groſsen Elektrisirmaschine. 1ste Forts.* 13.

Elektricitätsmenge.		[576]
12	der Drath hellglühend.	
14	verbogen abgerissen.	
15	in Stücke gesplittert.	
17	zu Kugeln geschmelzt.	
Die Batterie isolirt, ein neuer Drath angesetzt.		
12	derselbe in Stücke gerissen.	

Nach diesem Versuche konnte die Elektricitätsmenge so gewählt werden, daſs durch sie bei einem Drathe Glühen, bei einem ganz gleichen Drathe Schmelzen hervorgebracht wurde, indem im zweiten Fall die Elektricitätsmenge mitwirkte, die nach der ersten Schmelzung in der Batterie geblieben war. Um die Zeit zwischen den beiden Schmelzungen abzukürzen, wurden sogleich beide Dräthe in der einen Klemme des Schlieſsungsbogens befestigt, während in die andere zuerst das Ende des ersten, dann des zweiten Drathes gebracht wurde.

Elektricitätsmenge.	
13	der erste Drath hellglühend.
17	schmilzt zu Kugeln.
13	der zweite Drath schmilzt zu Kugeln.

Dieser Versuch wurde noch zweimal mit gleichem Erfolge angestellt.

577 Es war also zur vollkommenen Schmelzung dieser Dräthe die Elektricitätsmenge 17 nöthig; da nach der ersten Schmelzung die Menge 13 zu dieser Wirkung hinreichte, so muſste die Elektricitätsmenge 4 oder 0,23 der ganzen Ladung in der Batterie zurückgeblieben sein. Dieser Rückstand ist viel gröſser als bei der Entladung in der Schlagweite der Batterie. Wir werden sehen, daſs wenn der hier gebrauchten Batterie das Ende des Schlieſsungsbogens nur bis zu der Entfernung genähert wird, in der die Entladung eintritt, 0,15 der ganzen Ladung in der Batterie zurückbleibt (§. 631.). Der gröſsere Rückstand in dem vorliegenden Falle zeigt demnach, daſs die Continuität des Platindrathes früher gelöst war, als die vollständige Entladung in der Schlagweite zu Stande kommen konnte, diese Lösung also in auſserordentlich kurzer Zeit geschehen sein muſste.

578 Die Zerstäubung. Die erste direct sichtbare Wirkung der Entladung auf einen neuen Drath besteht in der Bildung

[578] einer Dampfwolke (§. 557.), die aus Metalltheilen besteht, welche von der Oberfläche des Drathes losgerissen werden. Durch Steigerung der Ladung über den Punkt hinaus, wo sie den Drath bei der Entladung vollkommen schmelzen würde, ist es möglich, die ganze Drathmasse in solchen Dampf zu verwandeln. Diese Verwandlung geschieht unter glänzender Lichterscheinung und mit einem starken Knalle. Durch einen Platindrath (rad. 0,0209, Länge 15 Lin.), der durch eine Entladung mit $s = 5$ $q = 13$ glühend wurde, und mit $q = 17$ zu Kugeln schmolz, wurde, nachdem er mit einer Glasröhre umgeben war, die Elektricitätsmenge 22 entladen. Er verschwand mit einem glänzenden Lichte, und in der Röhre zeigte sich ein grauer, abwischbarer Anflug. Der Versuch wurde in freier Luft wiederholt, indeſs ein Glimmerblatt horizontal einige Linien über dem Drathe angebracht war. Der Dampf, in den der Drath verwandelt wurde, überzog das Glimmerblatt mit grauen und schwärzlichen Flecken, die unter dem Mikroskope bei 280facher Vergröſserung aus Metallbrocken verschiedener Gröſse und Gestalt zusammengesetzt erschienen. Es fanden sich verhältniſsmäſsig wenige zusammengeschmolzene Stücke und Kugeln vor. Die Zerstäubung des Drathes rührte her von einer wirklichen Trennung des festen Metalles in kleine Theile.

579 Die Zerstäubung ist bei allen Metallen hervorzubringen, aber die dazu nöthige Stärke der Entladung steht nicht in gleichem Verhältnisse zu der, bei welcher die Metalle schmelzen. So schmilzt Zinn durch eine geringere Ladung als Cadmium, aber die Entladung, durch welche das letzte Metall vollkommen zerstäubte, lieſs den gröſsten Theil des Zinnes im geschmolzenen Zustande zurück. Die Sprödigkeit der Metalle ist ersichtlich auf ihre Zerstäubung von groſsem Einflusse. Fein vertheiltes Metall, von welchem viele Theile die Schmelzhitze besitzen, befindet sich in einem sehr günstigen Zustande, Sauerstoff aus der Luft aufzunehmen und sich in Oxyd zu verwandeln. Zerstäubt daher Metall in freier Luft, so findet es sich gröſstentheils als Oxyd wieder. Van Marum hat die Metalloxyde dadurch sichtbar gemacht, daſs er Metalldräthe in $\frac{1}{8}$ Zoll Entfernung über Papierblättern zerstäubte, die dadurch in man-

nigfacher Weise gefärbt wurden. Abbildungen dieser Färbungen [579] finden sich in der ersten Fortsetzung seiner Beschreibung einer grofsen Elektrisirmaschine. Ich habe einige solcher Figuren dargestellt unter beschränktem Zutritt der Luft, indem ich die Dräthe zwischen Papier legte, durch ein Pfundgewicht beschwerte, und durch starke Entladungen der Batterie zerstäubte. Es werden dann aufser den Färbungen durch die Oxyde auch die durch die reinen Metalle sichtbar. Dies war besonders bei Kupfer und Cadmium auffallend, die das Papier mit dunkelen Verzweigungen färbten, durch die sich glänzende metallische Adern durchschlingen. Guyton-Morveau [1]) und v. Marum [2]) zerstäubten freihängende Dräthe in einer Glocke, in der sich Stickgas oder sehr verdünnte Luft befand, und erhielten dabei regulinischen Metallstaub.

Mechanismus des Glühens und Schmelzens durch Elektricität.

Die einzelnen hervorstechenden Wirkungen steigender elektrischer Entladungen auf einen Metalldrath bilden, wenn man von der schwächsten Entladung anfängt, folgende Reihe: der Drath wird warm, er wird erschüttert, er erhält Einbiegungen, er glüht, er reifst von seinen Befestigungen ab, er zersplittert, er schmilzt, er zerstäubt. Die mechanischen und thermischen Erscheinungen wechseln hier mit einander ab, aber häufig sind sie gleichzeitig nachweisbar. Es findet kein Glühen eines Drathes statt, ohne dafs eine Verbiegung desselben nachgewiesen werden könnte, und selten wird eine Schmelzung erhalten, bei welcher nicht Zeichen der Zersplitterung vorkämen. Bei der letzten und feinsten Zertheilung des Metalles ist auch die Wärme thätig, wie das leichte Oxydiren des Staubes zeigt. Nur bei dem ersten Gliede der Reihe kommt die thermische Wirkung isolirt vor; soll man den Vorgang bei einer höheren Stufe ableiten, so ist stets die mechanische und thermische Wirkung gleichzeitig in Betracht zu ziehen. 580

[1]) Gilbert Annalen* 32. 55.
[2]) Beschreibung einer Elektrisirmaschine* 1ste Forts. 26.

581 Das Glühen tritt aus dem Kreise der reinen Wärmeerregung durch Elektricität heraus: die ihm vorangehenden mechanischen Wirkungen, die Dampfbildung, die Erschütterung und die niemals fehlende Verbiegung des Drathes, zeigen dies auf directe Weise. Indirect wird es dadurch bewiesen, daſs die Steigerung der elektrischen Erwärmung durch Aenderung der Dimensionen eines Drathes und der Ladung, deren Gesetze für niedrige Temperaturen bekannt sind, nicht zureicht, die Glühtemperatur abzuleiten. Ein dünner Platindrath, in die Kugel eines Luftthermometers eingeschlossen, wurde in vier Versuchsreihen von verschiedener Länge genommen, und aus den, bei verschiedenen Ladungen beobachteten, Erwärmungen wurde die Erwärmung für die Einheit der Ladung abgeleitet. Diese Erwärmung konnte aber auch nach der Wärmeformel (§. 470.) aus der Länge des Drathes berechnet werden. Es ergab sich folgende genügende Uebereinstimmung.

Länge des Drathes.	Temperatur für Einheit der Ladung. nach Beobachtung.	nach Formel.
141,6 Lin.	0,270 Gr. Cels.	0,2688
91,66	0,338	0,3419
48,75	0,449	0,4461
34,75	0,495	0,4953

582 Die kleinste Drathlänge war noch zu groſs, um durch eine Entladung der hier gebrauchten Batterie geschmelzt zu werden, ich verkürzte den Drath daher bis auf 15 Lin. und konnte ihn nun durch die in 4 Flaschen angehäufte Elektricitätsmenge 38, oder mit 5 Flaschen und Menge 42 gänzlich schmelzen. Wird die Formel auf diese Fälle angewendet, so erhält man für die Temperatur des zerstörten Drathes 211,8 und 207 Grade der hunderttheiligen Scale.

Diese Temperaturen konnten durch andere Beobachtungen controlirt werden. Es befand sich nämlich bei diesen Versuchen im Schlieſsungsbogen ein dicker unveränderlicher Platindrath, dessen Erwärmungen beobachtet wurden. Diese Erwärmungen haben nach der Wärmeformel (§. 469.) ein bestimmtes Verhältniſs zu den Erwärmungen des dünnen Drathes des vorigen Paragraphes, und geben die letzteren genügend wieder.

[582]

Länge des dünnen Drathes.	Erwärmung des dünnen Drathes beobachtet.	nach d. Erwärmung d. dicken Drathes berechn.
141,6 Lin.	0,270	0,2792
91,66	0,338	0,3346
48,75	0,449	0,4427
34,75	0,495	0,4906
15,0		0,6792

Die Temperatur des dünnen Drathes bei einer Länge von 15 Lin. würde hiernach bei der Einheit der Ladung 0,6792 Grad betragen und für seine Zerstörung 239,6 und 245,2 Grade ergeben. Auch die letzte, höchste der berechneten Temperaturen, obgleich sie für den Schmelzpunkt berechnet ist, reicht bei Weitem nicht hin, einen Platindrath ins Glühen zu versetzen. Das Glühen ist also nicht durch die gesetzliche Steigerung der Erwärmung eines Drathes zu erklären.

583 Auch durch eine andere bemerkenswerthe Erscheinung läſst sich zeigen, daſs bei dem Glühen nicht die regelrechte Erwärmung stattfindet. In einem constanten Schlieſsungsbogen, von dem kein Theil mechanisch verändert wird, gilt das Gesetz $\Theta = a\frac{q^2}{s}$, wo Θ die Anzeige des Thermometers, q Elektricitätsmenge, und s Flaschenzahl bedeutet. Die Gröſse a bleibt constant, so daſs ein Werth derselben hinreicht, Beobachtungsreihen darzustellen, bei welchen sehr verschiedene Ladungen gebraucht worden sind. Dies findet aber nicht statt, wenn sich im Schlieſsungsbogen ein Drath befindet, der durch die angewandten Ladungen mechanisch verändert wird. Alsdann nimmt der Werth von a bei der ersten mechanischen Wirkung auf den Drath ab bis zum Erscheinen des Glühens, bleibt während der verschiedenen Stufen des Glühens nahe constant, und nimmt bei der Zersplitterung und Schmelzung des Drathes wieder zu. Dies ist aus den folgenden Versuchen ersichtlich. Ein Platindrath, 16 Lin. lang, rad. 0,0396, befand sich nebst einem Thermometer im Schlieſsungsbogen.

Flaschenzahl.	Elektricitätsmenge.	Thermometeranzeige.	a
7	10	8,0	0,56
	12	9,3	0,45
	14	11,8	0,42

[583]

Flaschenzahl.	Elektricitätsmenge.	Thermometeranzeige.	a	
7	16	13,5	0,37	
	20	19,8	0,35	
	22	24,9	0,36	der Drath glühend.
	24	26,7	0,33	
	26	31,8	0,33	
	28	32,6	0,29	
	35	45,0	0,33	der Drath schmilzt.

Ein Platindrath von 10 Lin. Länge 0,0209 Radius im Schliefsungsbogen.

Flaschenzahl.	Elektricitätsmenge.	Thermometeranzeige.	a	Erscheinung am Drathe.
4	5	7,8	1,24	
	6	9,0	1,00	
	7	12,8	1,04	Einbiegung.
	9	17,5	0,87	dasselbe.
	10	20,6	0,82	Drath glühend.
	11	24	0,79	dasselbe.
	12	27,1	0,75	weifsglühend.
	$12\frac{1}{2}$	28	0,93	Drath zerrissen.

Der Werth für a ist in den Fällen, wo eine Zerstörung des Drathes eintrat, nicht nach der ganzen Elektricitätsmenge q, sondern, unter Beibehaltung der ganzen Dichtigkeit, mit $0{,}77 \,.\, q$ berechnet, da 0,23 der Ladung in der Batterie zurückblieben (§. 577.).

584 Die Gröfse a in der Formel $\Theta = a\frac{q^2}{s}$ ist proportional $\frac{1}{1+bV}$, wo V den Verzögerungswerth des glühenden Drathes, b einen vom übrigen Theile des Schliefsungsbogens abhängigen Werth bedeutet. Die in den obigen Versuchen bemerkliche Abnahme von a, die nur bei Anwendung des dünnen Drathes eintrat, bedingt also eine Zunahme des Verzögerungswerthes dieses Drathes. Der Drath verzögert, wenn wir von der Entladung ausgehen, welche den ersten mechanischen Effect hat, die folgenden Entladungen desto mehr, je stärker sie sind. Aber diese Verzögerungen halten nicht gleichen Schritt mit der Steigerung der Entladung, sie beobachten gewisse Perioden, innerhalb welcher sie sich nur wenig ändern, und diese Perioden hangen sichtlich mit den Wirkungen der Entladung zusammen. So tritt die erste bedeutende Zunahme des Verzögerungswerthes ein, wenn der Drath durch die Entladung

erschüttert wird, die andere bei den winkligen Einbiegungen [584] im Drathe, und wenn der Drath schmilzt, nimmt der Verzögerungswerth wieder ab. Der Verzögerungswerth eines Drathes hängt allein von der Art ab, in welcher eine Entladung in ihm fortschreitet; die Unveränderlichkeit jenes Werthes bis zu einem gewissen Punkte und die spätere fortwährende Aenderung bis zur Zerstörung des Drathes zeigen daher, daſs in jedem Drathe schwache Entladungen in anderer Weise, wie starke, fortgepflanzt werden. Worin diese verschiedene Fortpflanzung besteht, werde ich an einem späteren Orte (§. 653.) angeben. Hier genügt es, den Satz hervorzuheben: Die durch die elektrische Entladung auf einen Drath ausgeübten mechanischen Wirkungen, wozu auch das Glühen und Schmelzen desselben gehört, sind mit einer Fortpflanzung der Entladung verbunden, die von der gänzlich verschieden ist, durch welche der Drath nur erwärmt wird.

585 Was die Schmelzung betrifft, so lehren die angeführten Versuche den Vorgang bei ihr deutlich kennen. Wir haben gesehen, daſs durch gesteigerte Entladungen ein Drath in Splitter zerrissen wurde, die keine Schmelzung zeigten, daſs er in geschmelzte Splitter zerfiel, und daſs er endlich zu Kugeln geschmelzt wurde. Auch in dem letzten Falle zeigt sich die Zersplitterung des Drathes durch die Gewalt, mit der die Kugeln umhergeworfen werden. Wird eine gröſsere Metallmasse nur oberflächlich geschmelzt, so zeigt der niemals fehlende Dampf die mechanische Wirkung, die mit der Schmelzung verbunden ist; dann sind es nicht die fortgeschleuderten Metalltheile, welche die Schmelzung erleiden, aber sie machen die Schmelzung des übrigen Metalles möglich, indem sie seine Oberfläche auflockern und zerreiſsen. Ueberall also, wo die elektrische Schmelzung auftritt, ist eine mechanische Trennung der geschmelzten Masse sichtbar. Wenn Feuer auf ein Metall wirkt, so erhitzt es dasselbe fortwährend als ganze zusammenhängende Masse bis zum Schmelzen, die Elektricität hingegen erhitzt das Metall unverletzt nur zu Temperaturen, die tief unter dem Schmelzpunkte liegen, und schmelzt stets durch gleichzeitige Zerkleinerung und Erhitzung.

Fünftes Kapitel.

Die chemische Wirkung der Entladung.

586 Unter chemischer Wirkung versteht man die Verbindung getrennter chemischer Grundstoffe oder Trennung der mit einander verbundenen. Beides wird durch die elektrische Entladung geleistet, indem man den metallischen Schliefsungsbogen einer Batterie unterbricht, und die chemisch veränderliche Substanz in der Unterbrechung anbringt. Oft genügt es, statt der Batterie den Conductor einer Elektrisirmaschine anzuwenden, an den das eine Ende eines Drathes angelegt, während das andere mit dem Reibzeuge oder der Erde verbunden wird. Bei der Beurtheilung solcher Versuche drängt sich uns indefs das Bedenken auf, ob nicht vielleicht eine secundäre Wirkung der Elektricität vorliege. Eine Temperaturerhöhung wirkt auch chemisch, und es könnte daher geschehen, dafs wir eine chemische Wirkung der Elektricität zu sehen glaubten, wo nur eine thermische stattgefunden hat. Viele Versuche, die zum Beweise der chemischen Wirkung der Elektricität angeführt werden, kann man durch Feuer hervorbringen, und bei anderen, wo dies nicht gelungen ist, mufs man sich erinnern, dafs bei der elektrischen Erhitzung eine Menge zu einer hohen Temperatur gebrachter Körpertheile durch die zersetzbare Substanz geschleudert wird, was in anderer Weise nicht zu bewerkstelligen ist. Am wenigsten darf ein zur Zeit nicht geglückter Versuch unser Urtheil über die Art der elektrischen Einwirkung bestimmen. Ein Fall, den ich unten anführen werde (§. 591.), lehrt, dafs man von vorn herein eine Wirkung nicht darum als rein elektrische annehmen darf, weil es nicht geglückt ist, sie auch durch Feuer hervorzubringen.

587 Trotz dieser Bedenken würde es nicht gerechtfertigt sein, wenn ich alle Fälle hier übergehen wollte, in welchen die beobachtete chemische Wirkung muthmafslich auf einer Er-

hitzung beruht. In dem vorigen Kapitel ist gezeigt worden, [587] dafs das elektrische Glühen und Schmelzen, obgleich der Wirkung des Feuers entsprechend, eine der Elektricität eigenthümliche Wirkung darlegt. In ähnlicher Weise könnte es sein, dafs Erfolge von Versuchen zugleich der chemischen und thermischen Wirkung der Elektricität zugeschrieben werden müfsten, die wir jetzt von einer von beiden abzuleiten geneigt sind. Ich werde die merkwürdigsten solcher Fälle aufführen, sie aber getrennt halten von den Fällen, in welchen die chemische Wirksamkeit der Elektricität rein und unzweifelhaft hervortritt. Für diese besitzen wir ein untrügliches, aber nur auf die Zersetzung nicht luftförmiger Stoffe anwendbares, Merkmal. Es lassen sich nämlich an der im Schliefsungsbogen angebrachten Substanz die Stellen unterscheiden, an welchen die positive Elektricität in die Substanz hinein-, und aus ihr hinaustritt. Werden diese Stellen auch durch die Verschiedenheit der an ihnen ausgeschiedenen Stoffe sichtbar, so sollen die Versuche unter der Bezeichnung: elektrische Zersetzung oder Elektrolyse aufgeführt werden.

Verbindungen und Zersetzungen durch die elektrische Entladung.

588 Oxydirung von Metallen. Kupfer- und Eisendräthe, durch eine Entladung glühend gemacht, nehmen Sauerstoff aus der Luft auf, und werden lebhaft blau, gelb oder roth gefärbt. Andere Metalle erhalten in dieser Weise weniger merkbare Färbungen, die aber sehr zierlich hervortreten, wenn man den Entladungsfunken wiederholt von einer Spitze auf polirte Metallplatten schlagen läfst. Es entstehen hierdurch auf der Platte gefärbte Ringe, die ich bei den elektrischen Figuren (§. 774.) ausführlicher beschreiben werde. Der Dampf, der sich durch die Entladung in freier Luft von dem Drathe erhebt, oder in den die ganze Masse verwandelt wird (§. 578.), besteht bei den leicht oxydirbaren Metallen unzweifelhaft aus Oxyd. Ob dies auch bei den edlen Metallen der Fall ist, dafür fehlen entscheidende Beweise, die durch das Ansehen des gesammelten Staubes oder der Flecken, die jener auf Papier hervorbringt, nicht

[588] gegeben sind. Van Marum [1]) hat eine Menge solcher Zerstäubungen von Metallen in grofsem Maafsstabe ausgeführt und die Färbungen angegeben, welche Papiere erhielten, die $\frac{1}{8}$ Zoll von den zerstäubten Dräthen entfernt waren. Es wurden Blei, Kupfer, Messing, Silber, Gold, Platin, Zink, Wismuth, Eisen und Zinn durch starke Entladungen zerstäubt und scheinbar oxydirt. Bei dem Eisen wurde bemerkt, dafs wenn die angewandte Ladung der Batterie nicht zu stark war, das Oxyd sich in dem aufsteigenden Dampfe zu länglichen Flocken ballte, die bis 3 Zoll lang und 2 Lin. breit waren, und langsam in die Höhe stiegen. Aehnliche Flocken bildeten sich im Zinndampfe, und blieben in senkrechter Stellung einige Zeit hindurch in der Luft schweben.

589 Um die gebildeten Oxyde in gröfserer Menge zu sammeln, hat Cuthbertson [2]) folgenden Apparat angewendet. Ein Glascylinder (Fig. 108.) 8 Zoll lang, 2 bis 3 Zoll breit, ist an beiden Enden durch Messingfassungen luftdicht verschlossen, auf deren durchbohrte Mitte Röhren aufgelöthet sind. Die untere Röhre wird durch einen Hahn, die obere durch Kork geschlossen; letztere ist über dem Korke mit Fett angefüllt. An dem Boden des Cylinders befindet sich eine Metallrolle, um eine Metallaxe mit harter Reibung drehbar. Der Drath, den man der elektrischen Entladung aussetzen will, wird, von 4 Zoll zu 4 Zoll an einer Hanfschnur befestigt, auf die Rolle gewunden; ein Stück davon wird in dem Cylinder ausgespannt, indem man das Ende der Schnur durch die mit Kork und Fett angefüllte Röhre zieht. Ist durch Verbindung der beiden Metallfassungen mit einer Batterie das ausgespannte Drathstück zerstäubt, so zieht man die Schnur in die Höhe, und bringt dadurch einen neuen Drath zwischen die Fassungen. Mit der Luft des Cylinders steht ein an der oberen Fassung eingelassenes gekrümmtes Glasrohr in Verbindung, das mit Quecksilber gesperrt ist, aus dessen Stand das Volumen der Luft beurtheilt wird. Diese Röhre ist indefs bei den Cuthbertsonschen Versuchen von keinem Nutzen gewesen, da die Metalle

[1]) Beschreibung einer grofsen Elektrisirmaschine* 40. 1ste Fortsetzung 13. 2te Forts. 57.

[2]) *Practical electricity* 197. Gilbert Annalen.* 11. 400.

in atmosphärischer Luft zerstäubt wurden, welche schon für [589] sich durch Einwirkung der Elektricität vermindert wird (§. 594). Aus der Abnahme des Luftvolumens konnte daher nicht auf eine Oxydirung der angewandten Metalle geschlossen werden, die aber nach der Farbe des erhaltenen Metallstaubes vermuthet wurde. Der gesammelte Staub war bei Eisen röthlich braun, Blei bläulichweifs, Zinn weifs, Kupfer rothbraun, Silber schwarz, Gold dunkelbraun-purpern, Platin schwarz, Zink weifs. Es ist zu bemerken, dafs bei Silber, Gold und Platin die Farben nicht für die, übrigens sehr wahrscheinliche, Oxydirung entscheiden, da jene auch den sehr fein vertheilten Metallen zugehören.

590 Zersetzung von Metallverbindungen. Läfst man durch Zinnober, das in eine Glasröhre festgestampft ist, einen Entladungsschlag hindurch, so erhält man das ausgeschiedene Quecksilber in Kügelchen. Van Marum[1]) hat auf diese Weise mehrere Metallverbindungen zersetzt. Vier Glasplatten wurden in der Art zusammengelegt, dafs eine Rinne in der Mitte derselben frei blieb, die mit der zu zersetzenden Substanz und an den Enden mit feuchten Leinwandpfropfen ausgefüllt wurde. Letzteres geschah, um den Zweifel zu beseitigen, dafs das in der Substanz gefundene Metall von den Leitungsdräthen herrühre. Kräftige Schläge der Batterie stellten die Metalle wieder her aus Mennige, Bleiweifs, Zinn-, Zink-, Antimonoxyd, rothem Quecksilberoxyd. Leichter ist der Versuch, wenn man die Oxyde, mit Oel oder Wasser angerieben, auf Karten streicht, über die man den Entladungsfunken gehen läfst. Cavallo[2]) erhielt in dieser Weise schwarze Streifen auf Karten, die mit Zinnober, Bleiweifs oder Mennige gefärbt waren.

591 Zersetzung des Wassers. Der Entladungsfunke zersetzt Flüssigkeiten, durch die er hindurch schlägt, und macht aus ihnen Gasarten frei. Priestley[3]) erhielt Wasserstoff aus Schwefeläther, Olivenöl, Terpenthinöl, Pfeffermünzöl und Alkohol. Am meisten hat man sich mit der Zersetzung des

---

[1]) Beschreibung einer grofsen Elektrisirmaschine.* 39.
[2]) *Treatise of electr.** 2. 59.
[3]) *Exper. and observat. on diff. kinds of air.** *Lond.* 1774. *p.* 245.

[591] Wassers beschäftigt, und die Versuche darüber sind in mehrfacher Rücksicht lehrreich. Im November 1789 zersetzten Paets van Troostwyck und Deimann zuerst das Wasser in folgendem Versuche [1]). In das verschlossene Ende einer 10 Zoll langen, 1½ Lin. weiten Glasröhre war ein Golddrath eingeschmelzt, der 1½ Zoll weit in die Röhre ragte. Nachdem die Röhre mit Wasser gefüllt und in ein Gefäfs mit Wasser umgestürzt war, das durch Kochen oder Anwendung der Luftpumpe von Luft befreit war, wurde ein zweiter Golddrath von unten in die Röhre gebracht, so dafs zwischen den Enden beider Dräthe eine gröfsere Lücke blieb. Der untere Drath wurde mit der äufsern Belegung einer leydener Flasche verbunden, deren Knopf den Conductor einer Elektrisirmaschine berührte, der obere Drath mit einer Kugel, die vom Conductor 1 Zoll entfernt stand (Fig. 109.). Die Flasche wurde bei dem Drehen der Maschine geladen, und entlud sich von selbst durch das Wasser hindurch, wobei Gasblasen von den Spitzen der Golddräthe aufstiegen und sich am oberen Ende der Röhre sammelten. Nach 600 Entladungen waren 1½ Zoll der Röhre mit Gas gefüllt, das, ohne Rückstand verbrennbar, als ein Gemenge von Sauerstoff- und Wasserstoffgas erkannt wurde. Der Erfolg des Versuches hängt von der gehörig regulirten Entfernung der Drathenden in der Röhre ab. Stehen diese Enden einander zu nahe, so geht der Funke durch das Wasser, und zerschmettert die Röhre, stehen sie zu fern, so erfolgt keine Zersetzung des Wassers. Es wird die Vorschrift gegeben, die Drathenden in vorläufigen Versuchen vorsichtig einander so lange zu nähern, bis an ihnen bei der Entladung der Flasche ein im Finstern sichtbarer leuchtender Punkt erscheint.

592 Leichter ausführbar ist die von Pearson [2]) angegebene Art, den Versuch anzustellen. Eine oben geschlossene Glasröhre, 5 Zoll lang, ½ Zoll weit, ist unten trichterförmig erweitert, und in eine mit Wasser gefüllte Metallschale gestellt (Fig. 110.). In dem geschlossenen Ende ist ein Drath ein-

[1]) Gren Journ. d. Phys.* 2. 130. *Annales de Chimie** 5. 276.
[2]) *Philos. transact.* 1797. — *abridg.** 18. 104.

geschmelzt, der durch die Röhre geht, und dem Boden der [592] Metallschale bis $\frac{1}{20}$ Zoll nahe kommt. Bei Entladung einer Flasche durch die Schale und den Drath geht ein Funke durch das Wasser, aber ohne Gefahr, weil der Funke unter der Mündung der hier erweiterten Röhre entsteht. Bei jeder Entladung steigt Gas zum verschlossenen Ende der Röhre auf. In Pearson's Versuchen war diese Zerlegung des Wassers so gering, dafs nach 10200 Entladungen der Flasche, die während 12 Stunden durch das Wasser gegangen waren, erst $\frac{1}{4}$ Kubikzoll Gas erzeugt war. Diese Methode ist weniger instructiv, als die frühere, da die Stellen, an welchen die Zersetzung eintritt, zu nahe an einander liegen, als dafs man ihre Wirkungen sondern könnte. Als Ritter[1]) wieder die erste Methode gebrauchte, glaubte er zu finden, dafs jede der beiden Zersetzungsstellen nur Eine Gasart liefert, Wollaston[2]) hingegen zeigte, dafs jede Stelle für sich Wasserstoff- und Sauerstoffgas entwickelt. Zugleich vereinfachte Letzterer den Versuch, indem er die Berührung der Zersetzungsdräthe mit dem Wasser möglichst beschränkte. Sehr feiner Golddrath mit einer, nach Schätzung $\frac{1}{1500}$ Zoll breiten, scharfen Spitze, wurde in einem Haarröhrchen eingeschmelzt, so dafs nur die äufserste Spitze sichtbar blieb. Als zwei so geschützte Dräthe in ein Gefäfs mit Wasser gestellt waren, genügten $\frac{1}{20}$ Zoll lange Funken, die von dem Conductor einer Maschine auf den einen Drath schlugen, während der andere Drath mit dem Reibzeuge verbunden war, das Wasser zu zersetzen. Der Versuch gelang sogar ohne überspringende Funken in folgender Weise. Goldchloridlösung wurde durch ein Haarröhrchen getrieben, die Flüssigkeit verdampft und die Röhre bis zum Schmelzen erhitzt. Es entstand so ein solider Glasstab, durch den sich ein äufserst feiner Goldfaden zog. Zwei solcher Röhren zerlegten das Wasser, als sie ohne Zwischenraum metallisch mit den Conductoren einer Cylindermaschine verbunden wurden.

593 Die Entwickelung beider Gasarten an jeder Zersetzungsspitze wird schon durch die Unabhängigkeit der Zersetzung

---

[1]) Gilbert Annalen* 9. 4.
[2]) *Philos. transact.* 1801. Gilbert Annalen* 11. 110.

[593] an beiden Spitzen von einander bewiesen. Faraday[1]) verband von zwei, auf die erwähnte Art mit Glas bedeckten, und in Wasser gestellten Platindräthen den einen mit dem Conductor einer Maschine, den andern mit der Erde. Von beiden Spitzen stieg ein Gasstrom auf; als die eine Spitze durch einen nicht geschützten Drath ersetzt wurde, fehlte an diesem die Gasentwickelung, die an der andern ungehindert fortdauerte. Es ist dabei gleichgültig, ob die zersetzende Spitze positive oder negative Elektricität in das Wasser führt. Diese Abweichung von dem Gesetze der wirklich elektrischen Zersetzung (§. 606.) war so auffallend, daſs sich die Vermuthung aufstellen lieſs[2]), es liege hier nur eine Wirkung der Hitze vor, womit auch die Erfahrungen im Einklang stehen, daſs mit der Feinheit des Zersetzungsdrathes die Wirkung zunimmt (weil die Hitze der im Wasser stehenden Spitze dadurch erhöht wird), und daſs bei der Zersetzung an stumpfen Spitzen an diesen leuchtende Punkte bemerkt wurden (§. 591.). Doch stand dieser Vermuthung die Erfahrung entgegen, daſs Wasser nur durch leicht oxydirbares glühendes Metall zerlegt worden war, das sich den Sauerstoff des Wassers aneignet, wie denn Van Marum Eisen, Zinn und Blei unter Wasser durch den Entladungsschlag oxydirt und Wasserstoffgas erhalten hatte[3]). Diese Schwierigkeit ist später experimentell fortgeräumt worden, indem es Grove gelang, in einer Platinröhre, die in einer dem Schmelzpunkte des Platins nahen Temperatur erhalten wurde, Wasserdampf in seine Bestandtheile, Sauerstoff- und Wasserstoffgas, zu zerlegen[4]). Es sind also hinreichende Gründe vorhanden, in allen oben beschriebenen Versuchen die Wasserzersetzung der intensiven Hitze zuzuschreiben, in welche die Zersetzungsspitzen durch die Entladung versetzt werden. Damit ist aber nicht behauptet, daſs nicht eine wirklich elektrische Zersetzung des Wassers erhalten werden könne, und eine solche scheint wirklich, wie ich §. 611 anführen werde, in neuerer Zeit aufgezeigt worden zu sein.

---

[1]) *Exper. researches* al.* 328.
[2]) Repertor. d. Physik* 1838. 45.
[3]) Beschreibung einer Elektrisirmaschine. 1ste Forts.* 28.
[4]) *Philos. transact.* 1847. Pogg. Ann.* 71. 214.

594 **Bildung von Salpetersäure in der Luft.** Diese Wirkung des elektrischen Funkens auf die atmosphärische Luft ist in zwiefacher Hinsicht merkwürdig, da sie einerseits durch keine anderen Agentien hervorgebracht, andererseits häufig bei elektrischen Versuchen ins Spiel gezogen wird. Von den wesentlichen Bestandtheilen der Luft, Stickgas und Sauerstoffgas, verbindet der elektrische Funke beziehungsweise 2 Volumina mit 5 zu Salpetersäure, aber nur dann, wenn zugleich Wasserdampf in der Luft vorhanden ist. Schon Priestley hatte die Verminderung der Luft durch hindurchschlagende Funken bemerkt [1]) und auf die Bildung einer Säure geschlossen, aber erst Cavendish [2]) stellte darüber genaue Versuche an, die er später durch Gilpin vervollständigen liefs. Cavendish gebrauchte eine Glasröhre von $\frac{1}{10}$ Zoll innerer Weite, die mit ihren Enden in zwei mit Quecksilber gefüllte Becher tauchte (Fig. 111). Das Quecksilber des einen Bechers war mit einer Kugel verbunden, die von dem Conductor einer Elektrisirmaschine Funken erhielt, das des andern war zur Erde abgeleitet. Als die Röhre mit Luft gefüllt war, die darin $\frac{3}{4}$ bis $1\frac{1}{2}$ Zoll einnahm, und mit Lackmuslösung gesperrt war, konnte das Volumen der Luft durch lange Zeit durchschlagende Funken um $\frac{1}{5}$ vermindert werden, und danach war die Lösung geröthet, ein Zeichen der Bildung einer Säure. Zur Untersuchung dieser Säure wurde statt der Lackmuslösung, Kalilösung zur Sperrung der Luft benutzt, und zugleich der Luft ein gröfserer Sauerstoffgehalt gegeben, als den sie in der Atmosphäre besitzt. Der Versuch wurde so lange fortgesetzt, bis die Luft keine Verminderung mehr erfuhr, alsdann die Luft durch neue ersetzt und das Elektrisiren wieder begonnen. So konnte zuletzt die Kalilösung in den Schenkeln der Röhre gänzlich neutralisirt werden. Zur Trockenheit abgedampft, liefs sie Salpeter zurück, ein darein getauchtes und dann getrocknetes Papier verglimmte heftig. Somit war die Bildung von Salpetersäure aus der Luft bewiesen. Eine leichte Wiederholung dieses Versuches im Kleinen erhält man nach

---

[1]) *Philos. transact.* 1785 — *abridg.** 16. 21.
[2]) *Phil. trans.* 1788. — *abridg.** 16. 451.

[594] Faraday [1]), wenn man einen Streifen Lackmuspapier mit Kalilösung befeuchtet, und dicht darüber durch die Luft elektrische Funken so lange schlagen läfst, bis das Papier durchaus geröthet ist. Getrocknet und angezündet verglimmt das Papier mit Heftigkeit, wodurch der gebildete Salpeter angezeigt wird.

595 Das Ozon. In der Luft, durch die elektrische Funken gegangen sind, wird ein eigenthümlicher, oft sehr durchdringender phosphorähnlicher Geruch bemerkt. Zieht man Funken aus dem Conductor einer Elektrisirmaschine, so bemerkt man den Geruch nicht allein in der Nähe des Conductors, sondern auch am Finger, der den Funken gezogen hat. Dieser specifische elektrische Geruch ist lange Zeit als eine Eigenschaft der Elektricität angesehen worden, obgleich Franklin schon 1749 vermuthet hatte [2]), dafs er erst durch Einwirkung der Elektricität auf die Luft entstehe. Schönbein [3]) hat in neuerer Zeit gezeigt, dafs derselbe Geruch auch entwickelt wird bei der Wasserzersetzung durch die Voltaische Säule und bei der Einwirkung des Phosphors auf die Luft. Er hat den Geruch einem eigenthümlichen, bisher nicht isolirten, Stoffe, dem *Ozon*, zugeschrieben, und über das Verhalten einer damit geschwängerten Gasart vielfache Erfahrungen gesammelt, von welchen die folgenden hier zu erwähnen sind. Das Ozon wird an der voltaischen Säule zugleich mit dem Sauerstoffe entwickelt und fehlt also, wenn die Gase bei der Wasserzersetzung getrennt aufgefangen werden, in dem das Wasserstoffgas enthaltenden Gefäfse. Die Platte, an welcher das Sauerstoffgas auftritt, mufs aus Platin oder Gold bestehen, damit der Geruch entstehe, und darf ebenso wenig, wie das zersetzte Wasser, eine höhere Temperatur besitzen. Das Wasser kann Schwefel-, Phosphor-, Salpeter-säure und (mit wenigen Ausnahmen) Sauerstoffsalze enthalten; aber der Zusatz eines Chlorids, Jodids, Bromids, von Chlor- oder Brom-Wasserstoffsäure, von schwefelsaurem Eisenoxydul verhindert die Bildung des Ozon. Auf

---

[1]) *Exper. research.** *alin.* 325.
[2]) *Exper. and observ.** 84.
[3]) Poggend. Ann.* 50. 616. Schönbein Erzeugung des Ozons auf chemischem Wege.* Basel 1844.

chemischem Wege wird das Ozon gebildet, wenn Phosphor [595] auf feuchte Luft wirkt bei einer Temperatur, durch welche der Phosphor leuchtet. Am sichersten erhält man Ozon in der Luft einer Flasche, in die man ein wenig Wasser von 30 Grad Celsius und ein Stück Phosphor gebracht hat, und worin der Phosphor durch Schütteln mit dem Wasser und der Luft in Berührung gebracht wird. Die ozonhaltige Luft, auf welche Art sie auch erzeugt worden ist, besitzt die in dem folgenden Paragraphe angeführten Eigenschaften.

Die Entladung der Elektricität in die Luft kann nicht 596 allein mit einem Funken, sondern auch mit einer garbenförmigen Lichterscheinung unter zischendem Geräusche geschehen, die wir später unter der Bezeichnung des elektrischen Büschels kennen lernen werden. Dieser Büschel bildet sich von selbst an verschiedenen Stellen des Conductors einer kräftigen Elektrisirmaschine, und kann an jeder Stelle durch Ansetzung einer stumpfen Metallspitze erzeugt werden. Durch den Büschel wird das Ozon reichlich erzeugt, wie der Geruch lehrt, der nach Franklin's Beobachtung von der Materie der Spitze unabhängig ist, an welcher der Büschel entsteht. Eine Platin- oder Goldplatte, von dem elektrischen Büschel bestrichen, erhält eine eigene am Multiplicator nachweisbare Aenderung ihrer Oberfläche. Zwei Platin- oder Goldplatten, in gesäuertem Wasser einander gegenübergestellt und mit den Drathenden eines Multiplicators verbunden, geben keinen voltaischen Strom. Stellt man aber den Versuch an, nachdem die eine der beiden Platten dem elektrischen Büschel ausgesetzt gewesen, so zeigt die Bewegung der Magnetnadel des Multiplicators einen Strom an, und zwar von derselben Richtung, als ob die veränderte Platinplatte aus Kupfer, die unveränderte aus Zink bestände. Man bezeichnet dies merkwürdige Verhalten durch den Ausdruck, die Platinplatte sei *negativ polarisirt* worden. Dafs diese Veränderung der Platte nicht unmittelbar von der Elektricität herrühre, geht schon daraus hervor, dafs sie in gleicher Weise stattfindet, der Büschel mag von positiver oder negativer Elektricität gebildet sein. Es wirkt allein die Ursache des elektrischen Geruches, das Ozon; die Platte wird negativ polarisirt durch Eintauchen in ein Ge-

[596] fäfs, in dessen Luft Ozon gebildet worden, sie wird nicht polarisirt durch einen an heifser oder mit Wasser befeuchteter Spitze gebildeten Büschel, der völlig geruchlos ist. Geruch und Polarisirung bleiben aus, wenn in der Nähe der Spitze Schwefelwasserstoff oder schweflige Säure, wenn auch in sehr geringer Menge, entwickelt wird. Die negative Beschaffenheit der Platinplatte ist übrigens von kurzer Dauer, und wird durch Eintauchen in Wasserstoffgas sogleich aufgehoben. Eine an dem Conductor einer Elektrisirmaschine befestigte Platte, an welcher der elektrische Büschel erzeugt wird, zeigt sich nicht polarisirt.

597 Von den chemischen Wirkungen des Ozons sind folgende zu erwähnen. Schönbein legte ein Stück feuchtes geröthetes Lackmuspapier auf ein zur Erde abgeleitetes Platinblech, und setzte das Papier ½ Stunde bis 4 Stunden der Einwirkung des elektrischen Büschels aus. Nach der ersten Zeit war das Papier gebleicht, nach der letzten vollkommen entfärbt. In einer Flasche, deren Luft viel Ozon enthielt, wurde befeuchtetes blaues Lackmuspapier nach ¼ Stunde vollkommen weifs. Ein Tropfen Kaliumeisencyanür, dem Büschel ausgesetzt, nahm eine dunkelgelbe Farbe an, und nach 1000 Umdrehungen der Maschine war die Substanz in Cyanid verwandelt, wie sich dadurch zeigte, dafs sie durch schwefelsaures Eisenoxydul blau gefärbt wurde. Höchst empfindlich gegen die elektrische Einwirkung zeigte sich Papier, das mit einer Mischung von Stärkekleister und Jodkaliumlösung befeuchtet war. Es wurde durch den elektrischen Büschel sogleich gebläut. Diese Wirkung theilt indefs das Ozon mit der concentrirten Salpetersäure, die neben dem Ozon durch die elektrische Entladung in der Luft gebildet wird (§. 594.). — Ueber die Natur des Ozons sind viele Untersuchungen angestellt worden, die noch nicht als abgeschlossen betrachtet werden können. Es scheint nur die Anwesenheit der Bestandtheile des Wassers zur Bildung des Ozons nöthig zu sein, und die Meinung hat einige Wahrscheinlichkeit, wonach das Ozon eine höhere Oxydationsstufe des Wasserstoffs ist, als das Wasser.

Polarisirung von Metallen in Flüssigkeiten. 598
Zwei Gold- oder Platinplatten, die in eine zersetzbare Flüssigkeit gestellt sind, und durch die ein galvanischer Strom hindurchgeleitet wird, werden polarisirt, so daſs sie mit den Enden eines Multiplicators verbunden, eine Ablenkung der Nadel in bestimmter Richtung hervorbringen. Die Platte, welche den Strom in die Flüssigkeit leitet, wird *negativ*, die ihn ableitet, *positiv* polarisirt. Die Ablenkung ist in dem Sinne, als ob die negativ polarisirte Platte aus Kupfer, die positive aus Zink bestände (§. 596.). Diese Polarisirung wird hervorgebracht durch die nachweisbare Zersetzung der Flüssigkeit und Ablagerung der ausgeschiedenen Stoffe auf die Platten. Eine gleiche Polarisirung findet statt, wenn die Entladung einer leydener Flasche durch Platten und Flüssigkeit gegangen ist, obgleich man in diesem Falle keine Spur von Zersetzung der Flüssigkeit nachweisen kann. Henrici[1]) hat diese Versuche mit dem folgenden Apparate angestellt. In eine 5 Lin. weite, mit einer Flüssigkeit angefüllte Röhre *B* (Fig. 112.) ragen zwei Platindräthe, deren Enden in der Röhre etwa 27 Lin. von einander entfernt stehen. Diese Röhre wird zu gröſserer Bequemlichkeit in verticaler Stellung gebraucht, und der untere Platindrath in die Röhre eingeschmelzt, der obere in sie eingehängt. Die Dräthe der Röhre sind einerseits mit dem Multiplicator *C*, andererseits mit den beiden Belegungen der leydener Flasche *A* durch Dräthe und (in der Figur durch Punkte angedeutete) Quecksilbergefäſse verbunden. Alle Verbindungsdräthe liegen fest, bis auf den Drath *d*, der, in der Verticalebene um den Endpunkt *n* drehbar, zu Anfange des Versuches in die Höhe gezogen ist, und, wenn er horizontal liegt, mit seinem umgebogenen Ende in das Quecksilbergefäſs *e* taucht. Läſst man, nachdem die Flasche geladen ist, den Drath *d* fallen, so bringt er, indem sein Ende der über der Horizontalebene befindlichen Kugel *a* nahe kommt, die mit dem Innern der Flasche verbunden ist, eine Entladung durch die Flüssigkeit der Röhre hindurch zu wege, und verbindet, wenn er niedergefallen ist, die Röhre mit den Dräthen

[1]) Poggend. Ann.* 46. 585.

[598] des Multiplicators. Bei einem sehr empfindlichen Multiplicator ist es nöthig, den Verbindungsdrath *o* erst nach der Entladung in seine Lage zu bringen.

599 Der durch die Polarisirung hervorgebrachte elektrische Strom in der Röhre ist stets dem Entladungsstrome entgegengerichtet, dessen Richtung durch die Ladung der Flasche bestimmt ist. Die Ablenkung der Nadel des Multiplicators erfolgt so, als ob der Drath der Röhre, welcher von der Flasche positive Elektricität *erhält*, dem Multiplicatordrathe positive Elektricität *abgäbe*. Die Flüssigkeit der Röhre verhält sich also wie ein Halbleiter, durch den ein elektrischer Strom gegangen ist, und dessen Ladung an dem Elektroskope zu erkennen ist (§. 380.). Henrici fand den Polarisationsstrom der Röhre nach der Beschaffenheit der darin befindlichen Flüssigkeit verschieden stark. Unter den versuchten Flüssigkeiten (zumeist Salz- und Säurelösungen) war die Ablenkung der Nadel am stärksten bei Anwendung von Jodkaliumlösung und concentrirter Salzsäure, am schwächsten bei Schneewasser und wässrigem Alkohol. Mit verstärkter Ladung der Flasche nahm der Strom zu, so dafs die Ablenkungen der Nadel nahe im Verhältnisse der Elektricitätsmengen oder Dichtigkeiten der Flasche stiegen. Dies zeigt die folgende Uebersicht:

Stärke der Ladung	1	2	3	4	5	6	7	8
	Ablenkung der Multiplicatornadel.							
mit Kochsalzlösung	5°	10	15	20	25,5	31	36,5	42
mit Jodkaliumlösung	5	11,5	17	23	29	35	41	47

Blieben die Platindräthe in der Flüssigkeit, so hielt die Polarisation etwa 1½ Minuten an; brachte man die Dräthe nach der Entladung schnell in frische Flüssigkeit, so konnte ihre Polarisation dennoch nachgewiesen werden. Aufser Platin konnte auch Gold und Kupfer polarisirt werden. Schönbein[1]) brachte 2 Goldstreifen, 2 Zoll von einander entfernt, in chemisch reines Wasser, und entlud durch sie eine stark geladene leydener Flasche. Als die Streifen, in frisches Wasser gestellt, mit dem Multiplicator verbunden wurden, gaben sie einen Strom in der oben angegebenen Richtung. Nach Bec-

[1]) Poggend. Ann.* 59. 243.

querels Angabe [1] soll schon der schwache Strom einer [599] trockenen Säule von einigen 100 Papierelementen, zwei in Wasser gestellte Goldplatten polarisiren, so dafs sie an einem empfindlichen Multiplicator eine merkliche Ablenkung hervorbringen.

600 Chemische Aenderung in Gasen. Wenn der Entladungsfunke durch ein zusammengesetztes Gas geht, mag dies eine chemische Verbindung oder ein blofses Gemenge sein, so erleidet das Gas eine Aenderung seiner Zusammensetzung, und es scheidet sich oft ein flüssiger oder fester Stoff aus. Bei nicht entzündlichen Gasen geschieht diese Aenderung nur in der von der Entladung betroffenen Portion des Gases, und es bedarf wiederholter Entladungen, um die Aenderung merklich zu machen, während bei den entzündlichen Gasen Ein Funke die ganze vorhandene Gasmasse verändert. In dem letzten Falle ist nicht zu zweifeln, dafs die Elektricität nur secundär als Zündungsmittel wirkt, und wir die hieher gehörigen Beispiele in den §. 603 verweisen müfsten; ich führe sie aber früher an, weil dort auf die gebildeten Stoffe keine Rücksicht genommen wird. Bei nicht entzündlichen Gasen wendet man eine einseitig geschlossene Glasröhre an, in deren Wandung 2 Platindräthe so eingeschmelzt sind, dafs ihre Enden im Innern der Röhre etwa 1 Zoll von einander stehen, und läfst den Zwischenraum von Funken überspringen, die von dem Conductor einer Maschine erhalten werden. Die Röhre ist gröfstentheils mit dem Gase gefüllt, das durch Wasser oder Quecksilber abgesperrt ist. Die beiden merkwürdigsten Fälle, Bildung der Salpetersäure und des Ozons in der Luft, sind in §. 594 und §. 595 angeführt worden. Aufserdem sind noch folgende Fälle zu merken. Ein Gemenge von 5 Maafs Sauerstoff und 2 Stickgas wird ohne Rückstand in Salpetersäure verwandelt. Stickoxydul zerfällt in Sauerstoff und Stickgas, Stickoxyd in Stickgas und salpetrige oder (bei Anwesenheit von Wasserdampf) Salpetersäure. Salzsäuredampf wird in Wasserstoffgas und Chlor zerlegt, aber die Zersetzung geht nicht über $\frac{1}{35}$ der angewandten Gasmenge, weil der Funke bei

[1] *Comptes rendus de l'acad.** 22. 408.

[600] fortgesetzter Einwirkung die getrennten Bestandtheile der Salzsäure wieder vereinigt. Aus gleichem Grunde kann nur ein kleiner Theil von Kohlensäure zersetzt werden, welche in Kohlenoxyd und Sauerstoff zerfällt. Zwei Volumina Ammoniak geben 3 Vol. Wasserstoffgas, 1 Stickgas. Läſst man durch Kohlenwasserstoffgas den Funken schlagen, so setzt sich Kohlenpulver an dem Glase ab und es bleibt Wasserstoff zurück. 1 Vol. Kohlenwasserstoff (sowohl Grubengas als ölbildendes Gas) liefert 2 Vol. Wasserstoffgas. Ebenso wird aus Cyangas Kohle abgeschieden, und es bleibt Stickgas zurück; ist jenes Gas aber mit Wasserstoffgas gemengt, so erleidet es durch den Funken keine Veränderung. Aus Schwefelwasserstoffgas wird der Schwefel schwer abgeschieden, das Volumen des Gases bleibt dabei unverändert.

601 Die Wirkung des Funkens auf entzündliche Gase untersucht man in dem *Eudiometer,* einem in der Chemie zur Trennung der Gase von einander bestimmten Instrumente. Es besteht aus einer, ihrem Raume nach getheilten, einseitig verschlossenen Glasröhre, in deren Wand 2 Dräthe diametral eingeschmelzt sind, deren Enden etwa 1 Linie von einander stehen. Bunsen hat folgende Einrichtung empfohlen. Die Röhre ist 2 Fuſs lang, von 8 Lin. innerer Weite, 0,7 Lin. Glasdicke. An dem verschlossenen Ende sind seitlich zwei dünne Platindräthe diametral eingeschmelzt, die im Innern der Röhre nach der Wölbung des Glases gebogen sind, und am höchsten Punkte der Wölbung 1 Lin. von einander abstehen (Fig. 113.). Diese Biegung der Dräthe ist nöthig, um die Röhre mit Quecksilber füllen zu können, ohne daſs Luft an dem Glase hängen bleibe. Man muſs sich dazu eines Trichters von der Länge der Röhre bedienen, dessen Oeffnung so nahe als möglich dem verschlossenen Ende der Röhre steht. Die mit Quecksilber gefüllte Röhre wird in Quecksilber umgekehrt, das Gasgemenge in die Röhre gebracht und durch den Funken einer leydener Flasche entzündet, die man mit den äuſseren Enden der Platindräthe des Eudiometers in Verbindung setzt. Hierbei muſs man das untere Ende der Röhre gegen eine am Boden des Quecksilbergefäſses befestigte Kautschukplatte drücken, weil die bei der Entzündung eintretende Ausdehnung des Gases

das Quecksilber aus der Röhre treiben, und leicht einen Eintritt von Luft veranlassen würde. Mitscherlich hat zu gleichem Zwecke die Glasröhre an dem offenen Ende der Quere nach durchbohren lassen, so daſs man während der Entzündung die Röhre durch einen eingeschliffenen Glasstöpsel verschlossen halten kann. [601]

Bei der Vergleichung der Volumina von Gasen muſs die Temperatur sowol, als der Druck berücksichtigt werden, unter dem die Gase stehen. Bei den folgenden Angaben ist die Unveränderlichkeit beider Einflüsse angenommen. Gleichen Druck erleidet ein Gas im Eudiometer, wenn bei gleichem Barometerstande die Quecksilbersäule in der Röhre dieselbe Höhe über dem Niveau der Wanne besitzt. Ein Gemenge von 2 Volum. Wasserstoff und 1 Sauerstoff (Knallgas genannt) verschwindet durch den elektrischen Funken und bildet Wasser. Es genügt hierzu der Funke von dem Deckel eines kleinen Elektrophors. Die Entzündung wird desto schwieriger, je weniger dicht das Gas ist, und nach Grotthuſs' Versuchen [1]) ist sie selbst durch den Funken einer leydener Flasche nicht mehr zu bewirken, wenn das Gas durch Wärme zum vierfachen Volumen ausgedehnt oder bei gewöhnlicher Temperatur einem Drucke von nur 5 Zoll Quecksilber ausgesetzt ist. 602

1 Vol. Wasserstoff und 1 Chlor werden zu 2 Vol. salzsaurem Gase verbunden; die Entzündung findet noch bei 24facher Verdünnung statt (unter dem Drucke von $1\frac{1}{8}$ Zoll Quecksilber). — 2 Vol. Kohlenoxydgas, 1 Vol. Sauerstoff geben 2 Vol. Kohlensäure. — 2 Vol. Grubengas (Kohlenwasserstoff in minimo) und 2 Vol. Sauerstoff geben 2 Vol. Kohlenoxyd und 2 Vol. Wasserstoff. — 2 Vol. Grubengas und 4 Vol. Chlor geben unter Ausscheidung von Kohle 8 Vol. salzsaures Gas.

2 Vol. ölbildendes Gas (Kohlenwasserstoff in maximo) und 6 Vol. Sauerstoff geben 4 Vol. Kohlensäure mit Ausscheidung von Wasser. Dieselbe Gasmenge mit 1 Vol. Sauerstoff ist nicht mehr entzündlich, und mit 12 Vol. Sauerstoff nur durch den Funken einer leydener Flasche.

1 Vol. Cyangas mit 2 Vol. Sauerstoff geben 2 Vol. Kohlensäure und 1 Vol. Stickgas.

[1]) Schweigger Journ.* 3. 184. B. 4. 252.

[602] 2 Vol. Blausäuredampf mit $2\frac{1}{2}$ Vol. Sauerstoff geben 2 Vol. Kohlensäure, 1 Stickgas unter Ausscheidung von Wasser. — 1 Vol. Schwefelwasserstoffgas mit $\frac{1}{2}$ Vol. Sauerstoff verschwindet unter Abscheidung von Schwefel und Wasser. — 1 Vol. Schwefelwasserstoff mit $1\frac{1}{2}$ Vol. Sauerstoff giebt 0,87 Vol. schwefligsaures Gas und Wasser.

603 Die Zündung. Selten hat ein einzelner Versuch der Disciplin, der er zugehört, so viel genützt, wie die elektrische Zündung. Früher waren die elektrischen Bewegungen, das elektrische Licht bewundert worden, aber die dabei wirkende Naturkraft hatte als machtloses Feuer kein allgemeines Interesse erregt. Mit der Zündung bewährte sich die Elektricität in den Augen der Menge als etwas Reelles, sie verkörperte sich gleichsam und Jeder, der Mufse dazu fand, glaubte sie fassen, ihr eine neue Seite abgewinnen zu können. So sehen wir den ersten gelungenen Versuch, die Zündung des Schwefeläthers, die Ludolf am 23. Januar 1744 in der öffentlichen Sitzung der berliner Akademie ausführte, in fast allen Theilen Europa's in den verschiedensten Klassen der Gesellschaft wiederholt. Der Versuch wurde eine beliebte Unterhaltung an fürstlichen Höfen, und die Bewunderung, die König Friedrich von Schweden dem elektrisirten Eiszapfen zollte, mit dem Klingenstierna einen Löffel voll Alkohol entzündete, fand einen Wiederhall unter den höheren Ständen, die durch eigene Thätigkeit oder Geldunterstützung die Ausbildung der elektrischen Versuche zu fördern suchten [1]). Es ist sehr wahrscheinlich, dafs wir diesem, sich weithin verbreitenden Interesse für die Elektricität die, nicht lange nachher erfolgende, Erfindung der leydener Flasche zu danken haben.

Die Zündung mit Flamme betrifft luftförmige Stoffe und ist daher am leichtesten bei schon gebildeten Gasen auszuführen. Das Wasserstoffgas wird in Berührung mit atmosphärischer Luft durch den kleinsten elektrischen Funken entzündet. Man führt den Versuch in einem Eudiometer aus (§. 601.), das man ohne Sperrflüssigkeit zur Hälfte mit Wasserstoffgas füllt und mit einem Korke verschliefst, oder in einer Blech-

---

[1]) Siehe Vorr. zu Winkler Eigenschaften d. elektr. Materie.* Leipz. 1745

röhre, die elektrische Pistole, in die seitlich ein Drath isolirt [603] geführt ist, dessen Ende der Wand der Röhre nahe steht. Ist in die Röhre eine passende Menge Gas aus einer Flasche getreten, in welcher es durch Zink und verdünnte Schwefelsäure entwickelt wird, so verschliefst man ihre Oeffnung mit einem Korke, und läfst einen Funken auf den isolirten Drath schlagen. Der Kork wird mit Knall und Flamme aus der Röhre geschleudert. Auch der Dampf des Schwefeläthers, mit dem man die innere Wand der Pistole befeuchtet, läfst sich unter gleichen Erscheinungen entzünden, doch ist der Versuch nicht sicher und erfordert häufig den Funken einer leydener Flasche.

604 Die Zündung des Wasserstoffgases wird zu der elektrischen Zündmaschine benutzt. In einem hohlen Glascylinder, oben durch eine Metallplatte geschlossen, auf die eine mit einem Hahne verschlossene Röhre aufgesetzt ist, wird ein Stück Zink aufgehängt; der Cylinder wird in eine weite Flasche mit verdünnter Schwefelsäure getaucht, zu der man einige Tropfen Platinchloridlösung hinzugesetzt hat. Nach jedem Ausflusse von Gas füllt sich der Cylinder lange Zeit hindurch mit neuem Gase, da das Zink so lange auf die Schwefelsäure wirkt, bis diese durch den Druck des Gases aus dem Cylinder getrieben ist. Ueber der Oeffnung der Ausflufsröhre sind zwei Dräthe angebracht, von welchen der eine isolirt und mit dem Schilde eines unter der Flasche befindlichen Elektrophors in Verbindung gesetzt ist; beim Heben des Schildes, das mittels einer Schnur bei dem Oeffnen der Ausflufsröhre durch den Hahn bewirkt wird, geht ein Funke zwischen den Enden der beiden Dräthe über und entzündet den Gasstrahl. Es zeigt sich hierbei, dafs der Funke nicht das Wasserstoffgas zu entzünden vermag, sondern das Knallgas, welches sich durch Vermischung des Wasserstoffes mit der Luft bildet. Ueber der Ausflufsöffnung entsteht nämlich ein Kegel von Wasserstoffgas, von einem Mantel von Knallgas umgeben; stehen die Dräthe in geringer Entfernung von einander genau über der Oeffnung, so geht der Funke im Wasserstoffgas über, erhält eine röthliche Farbe und zündet nicht. Man braucht die Dräthe aber nur ein wenig seitlich zu verrücken, um die Zündung zu bewirken.

[604] Mit gleicher Leichtigkeit ist das Kohlenwasserstoffgas zu entzünden, das von dem Dochte einer Wachs- oder Talgkerze aufsteigt. Man hat dazu nur nöthig, vom Conductor einer Elektrisirmaschine einen Funken durch den Rauch einer eben ausgelöschten Kerze gehen zu lassen. Um Schwefeläther zu zünden, läfst man den Funken von einem mit dem Conductor verbundenen Leiter in die Flüssigkeit schlagen, die sich in einer Metallschale befindet. Weniger sicher ist die Zündung von Alkohol, Terpenthinöl und anderen ätherischen Oelen bei gewöhnlicher Temperatur; eine mäfsige Erwärmung der Flüssigkeit genügt, die Dampfentwickelung so weit zu vermehren, dafs die Zündung durch den Funken erfolgt.

605 Leicht entzündliche feste Körper werden durch den Funken einer leydener Flasche oder einer Batterie angezündet. Am leichtesten geschieht dies mit zerstofsenem Kolophon und mit Semen lycopodii. Hat man eines dieser Pulver zwischen die Spitzen des allgemeinen Ausladers gebracht, so kommt es häufig vor, dafs es durch den Entladungsfunken der Batterie ohne Zündung auseinander gefegt wird. Sicherer ist die Zündung, wenn man einen Flocken loser Baumwolle mit dem Harzpulver bestreut und durch diesen den Funken gehen läfst. Besonders merkwürdig ist die Zündung von Feuerschwamm, Phosphor, Schiefspulver. Mit dem Schiefspulver hat man sich lange Zeit beschäftigt, ohne eine Zündung anders erhalten zu können, als unter Umständen, die es zweifelhaft machen, ob die Zündung nicht durch die bei der Entladung glühend gewordenen Leitungsdräthe hervorgebracht sei, bis Wolff [1]) im Jahre 1787 eine mit Wasser inwendig befeuchtete Glasröhre in den Schliefsungsbogen einschaltete, und so eine sichere, wirklich elektrische Zündung hervorbrachte. Wir wissen, dafs bei einem, mit Ausschlufs einer kleinen Luftstrecke, ganz metallischen Schliefsungsbogen die Entladungszeit einer Batterie aufserordentlich klein ist, und dafs diese Zeit sehr verlängert wird durch Einschaltung eines schlechten Leiters. Diese Verlängerung ist der Zündung fester Körper günstig, ja vielleicht bei einigen unumgänglich nöthig. Die Entladung durch einen

---

[1]) Lichtenberg Magazin für das Neueste* II_2. 70.

metallischen Bogen wirft gewöhnlich das Schiefspulver unent- [605] zündet auseinander, zersprengt den Phosphor, zerreifst den Feuerschwamm, während die verzögerte Entladung die Zündung dieser Stoffe unfehlbar bewirkt. Dasselbe ist der Fall bei dem neuerdings erfundenen, höchst entzündlichen Präparate, der Schiefsbaumwolle. Ein Flocken davon wird durch den vollen Schlag einer Batterie in den meisten Fällen zerzaust, durch den verzögerten immer entzündet. Man wendet zu der Verzögerung der Entladung eine mit Wasser gefüllte, 8 Zoll lange 3 Linien weite, Glasröhre an, in deren Enden zwei kurze Kupferdräthe tauchen, die mit dem Schliefsungsbogen verbunden werden. Der entzündliche Körper wird zwischen den Spitzen des allgemeinen Ausladers so angebracht, dafs er die eine Spitze, gleichgültig welche, berührt und von der andern etwa 1 Lin. entfernt bleibt. Ich gebrauchte zu den hier beschriebenen Zündungen 3 Flaschen meiner Batterie (§. 363.) und die Elektricitätsmenge 20 bis 26, zu deren Messung die Kugeln der Maafsflasche ½ Lin. von einander entfernt waren.

Die Zündung fester Körper, die durch die gewöhnlichen Flaschen leicht gelingt, kann auch an dem einfachen Conductor der Elektrisirmaschine, wenn er von besonderer Gröfse und Form ist, ausgeführt werden. Wilson[1]) verband mit einem grofsen Metallcylinder (§. 274.) einen sehr langen Drath, der auf einer 300 Fufs langen Seidenschnur in weiten Windungen aufgereiht war, so dafs die ganze Länge des isolirten Leiters 11700 engl. Fufs betrug. Als dieser Conductor durch eine grofse Cylindermaschine geladen war, konnte an ihm Phosphor, Zunder und Schiefspulver entzündet werden. Durch den Funken eines grofsen, aus Metallröhren und Kugeln zusammengesetzten Leiters entzündete Van Marum[2]) Zunder, Harz, Schwamm, Schiefspulver, Terpenthin- und Olivenöl.

---

[1]) *Philos. transact.* 1778 — *abridg.** 14. 353.
[2]) Beschreibung einer grofsen Elektrisirmasch.* 1786. 12.

Die elektrische Zersetzung, Elektrolyse.

606 Die dem Entladungsstrom ausgesetzte Substanz wird von dem metallischen Schliefsungsbogen an zwei Stellen berührt. Die *Elektrolyse* besteht in einer Zersetzung, die auf diese beiden Stellen beschränkt bleibt und an jeder Stelle einen verschiedenen Stoff abscheidet. Es müssen daher diese Stellen von einander unterschieden werden. Wir haben im elektrischen Strome stets nur die Bewegung der positiven Elektricität betrachtet, und wollen jetzt das Ende des Schliefsungsdrathes, das den Strom in die zersetzbare Substanz hineinführt, den *Zuleiter*, dasjenige, welches ihn fortführt, den *Ableiter* nennen. Der Zuleiter wird sonst auch positive Elektrode, der Ableiter negative Elektrode genannt. Die Elektrolyse befolgt das Gesetz, dafs von dem zusammengesetzten Körper die Säure an dem Zuleiter, die Basis an dem Ableiter frei gemacht wird. Dies beweist der folgende Versuch. Wollaston [1]) brachte einen Silberdrath mit dem positiven, einen andern mit dem negativen Conductor einer Cylindermaschine so in Verbindung, dafs $\frac{1}{10}$ Zoll lange Funken auf den einen Drath schlugen. Die freien Enden der Dräthe waren, mit Ausnahme der äufsersten Spitzen, mit Siegellack überzogen, und wurden in eine Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd gestellt. Nach 100 Umdrehungen der Elektrisirscheibe war der Ableiter mit Kupfer bedeckt, der Zuleiter unverändert. Die an dem Zuleiter entwickelte Schwefelsäure wurde durch Umkehrung des elektrischen Stromes aufgezeigt, die eine Auflösung des Kupferüberzuges bewirkte, der nun Zuleiter geworden war. In gleicher Weise wurde aus einer Lösung von Quecksilberchlorid am Ableiter das Quecksilber ausgeschieden.

607 Faraday [2]) hat die Beobachtung der Elektrolyse durch folgende Einrichtung erleichtert. Auf einer, in einiger Höhe über einem Bogen Papier befestigten, Glasplatte wurden zwei Stücke Stanniol gelegt, von welchen das eine mit dem Conductor einer Maschine, das andere mit der Erde in metalli-

---

[1]) Gilbert Annalen* 11. 108.
[2]) *Experiment research.* al.* 312 — 326. *al.* 455 — 471.

scher Verbindung stand. Auf jedes Stanniolstück war ein gebogener Platindrath gestellt, dessen Spitze die Glasplatte berührte (Fig. 114.); das mit dem Buchstaben *p* bezeichnete Ende war mit dem, positive Elektricität liefernden, Conductor der Maschine verbunden und bildete also den Zuleiter, das Ende *n* den Ableiter. Zwischen *p* und *n* wurde auf dem Glase ein dicker Strich mit einer Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd gezogen, nach 20 Umdrehungen der Scheibe war das Ende des Ableiters mit Kupfer bedeckt. Ein Tropfen verdünnter Salzsäure, mit schwefelsaurem Indigo blau gefärbt, und zwischen *p* und *n* gebracht, entfärbte sich in der Nähe des Zuleiters nach Einer Umdrehung, zum Zeichen dafs daselbst Chlor ausgeschieden wurde. Eine mit Stärke gemischte Jodkaliumlösung wurde an dem Zuleiter blau durch Ausscheidung von Jod. Noch leichter liefs sich die Zersetzung aufzeigen, als Papierstreifen, mit den genannten Flüssigkeiten genäfst, unter die Platinspitzen gelegt wurden. Mit Jodkalium genäfstes Papier erhielt unter dem Zuleiter einen Jodfleck, ein mit Kochsalzlösung befeuchtetes Lackmuspapier wurde darunter geröthet. Curcumäpapier, in eine Lösung von Glaubersalz getaucht, wurde unter dem Ableiter gebräunt, und der Fleck verschwand durch wenige Umdrehungen der Scheibe, als er unter den Zuleiter gebracht war. Alle diese Fälle sind Beweise für den oben ausgesprochenen Satz, da die Säure unter dem Zuleiter, das Alkali unter dem Ableiter frei gemacht wurde. Die zwiefache Abscheidung läfst sich gleichzeitig sichtbar machen, wenn man ein Lackmuspapier mit einem Curcumäpapier verbindet, jenes unter den Zuleiter, dieses unter den Ableiter bringt und beide mit Glaubersalzlösung anfeuchtet. Beide Papiere erhalten dann die charakteristischen Flecke durch das Spiel der Maschine. Diese Flecke lassen sich gleichzeitig in beliebiger Anzahl hervorbringen. Faraday legte 3 solcher combinirten Papiere auf eine Glastafel und verband sie durch 2 Platindräthe, wie die Fig. 115 zeigt. Jeder Verbindungsdrath hatte hier ein zuleitendes und ein ableitendes Ende; als daher der elektrische Strom, in *m* eintretend, durch sie hindurchging, wurden die Lackmuspapiere bei *ppp* geröthet, die Curcumäpapiere bei *nnn* gebräunt.

[607]

608 Die entgegengesetzten Zersetzungsstellen lagen in den vorigen Versuchen sehr nahe an einander; sie können beliebig weit von einander entfernt werden, ohne die Erscheinung im mindesten zu ändern. Faraday legte ein Lackmuspapier mit einem Zersetzungsdrathe auf eine Glastafel, ein Curcumäpapier mit einem Drathe auf eine andere, und verband beide Papiere durch eine 70 Fuſs lange isolirte Hanfschnur, die mit Glaubersalzlösung genäſst war. Durch den von dem Conductor einer Maschine ausgehenden elektrischen Strom erhielten beide Papiere Flecke, und zwar das Curcumäpapier einen ebenso intensiven Fleck, als ob es das Lackmuspapier unmittelbar berührt hätte. Aehnliche Versuche wurden mit Papier angestellt, das in Jodkaliumlösung getaucht war, wobei der Conductor negativ elektrisirt war, so daſs der ihn berührende Zersetzungsdrath der Ableiter wurde. Das Wunderbare, eine Substanz so zersetzt zu sehen, daſs der eine Bestandtheil 70 Fuſs von dem andern entfernt auftritt, verschwindet durch Vergleichung dieses Versuches mit dem letzten des vorigen Paragraphes. Man rücke die 3 Papierstreifen der Fig. 115 näher zusammen und verkürze die Verbindungsdräthe, so wird wie früher auf jedem Papiere unter *p* Säure, unter *n* Alkali frei werden. Denkt man sich die Papiere einander so nahe, daſs die beiden Enden jedes Verbindungsdrathes zusammenfallen, so wird das Alkali des ersten Papieres sich mit der Säure des zweiten, das Alkali des zweiten mit der Säure des dritten Papieres verbinden können, und nur die Säure des ersten und das Alkali des dritten Papieres zum Vorschein kommen. Dies wird ebenso der Fall sein, wenn wir die Zahl der Papiere vermehren, die beiden äuſsersten beliebig weit auseinander legen. Man hat sich demnach in der 70 Fuſs langen Säule von Glaubersalzlösung eine groſse Menge von Zersetzungen zu denken, von welcher nur die erste und die letzte zum Vorschein kommen, da die Producte aller übrigen sich sogleich wieder vereinigen. Daſs die Zersetzung in jeder Entfernung von dem, Eine Elektricitätsart liefernden Conductor gleich stark ist, kann nicht auffallen, da die Zersetzung eine Folge des elektrischen Stromes ist, der in jedem Querschnitte des Schlieſsungsbogens nach unseren früheren Erfahrungen von gleicher Stärke ist.

609 Die Elektrolyse wird durch den Ein- und Austritt des Stromes aus der zersetzbaren Substanz bewirkt, und die Berührung der Substanz mit den Leitungsdräthen ist dabei unwesentlich. Faraday verband eine aus Curcumäpapier geschnittene Spitze *a* (Fig. 116.) mit einer aus Lackmuspapier geschnittenen *b*, befeuchtete beide Spitzen mit Glaubersalzlösung, und befestigte sie so auf einer Platte, daſs die Spitzen frei in die Luft hinausragten. Einen halben Zoll von den Papierspitzen entfernt wurden 2 Metallspitzen befestigt, von welchen *p* mit dem, positive Elektricität gebenden, Conductor einer Maschine, *n* mit der Erde verbunden wurde. Bei der Bewegung der Maschine muſste durch Influenz ein Strom in den Papieren erregt werden, der von *b* nach *a* und von dort durch die Luft zum Ableiter *n* ging. Die Spitzen beider Papiere erhielten die ihnen zukommenden Flecke, und diese verschwanden wieder, als die Papiere eine entgegengesetzte Lage erhielten, so daſs das Lackmuspapier dem Ableiter, das Curcumäpapier dem Zuleiter gegenüberstand. Als 4 solcher combinirten Papierspitzen (Fig. 117.) zwischen 2 Platinspitzen in eine Reihe gelegt waren, zeigten an allen die gegen den Zuleiter gerichteten Seiten *b* die sauere, die gegen den Ableiter gerichteten *a* die alkalische Färbung. Dieser Versuch ist noch mehr, als der im vorigen Paragraphe angeführte, geeignet, eine Vorstellung zu geben von der Zersetzung einer zusammenhängenden, in die Länge ausgedehnten Substanz. Denkt man sich die Papiere nahe zusammengerückt, so daſs alle nächsten *a* und *b* zusammenfallen, so müssen die saueren und alkalischen Abscheidungen einander neutralisiren, und diese nur an den Enden, die dem Zu- und Ableiter gegenüberstehen, zum Vorschein kommen. —

Bei allen diesen Versuchen hat man sich vor einer Täuschung zu hüten, auf die §. 594 gedeutet worden ist. Wenn der elektrische Funke durch die auf befeuchtetem Papiere ruhende Luftschicht geht, so wird durch Bildung von Salpetersäure oder Ozon eine sauere Reaction hervorgebracht; Lackmuspapier wird dadurch geröthet, auf Curcumäpapier die Bräunung verhindert. Zwei Platinspitzen, die auf Jodkaliumpapier gesetzt sind, geben oft unter beiden Spitzen Jod. Bei genauerer Betrachtung wird dann während der Entladung ein

[609] kleiner Lichtschimmer unter jeder Spitze bemerkt, zum Zeichen, dafs die Spitzen nicht fest genug aufgesetzt sind, und dafs der Entladungsstrom für den Feuchtigkeitszustand des Papieres zu stark gewesen ist. Bei dem Ueberschlagen eines Funkens von einer Spitze zur andern, wird die ganze dazwischenliegende Papierstrecke durch ausgeschiedenes Jod gebräunt.

609a. Die Stärke der Elektrolyse, die sich in der Menge der ausgeschiedenen Stoffe zeigt, hängt von der Menge der entladenen Elektricität ab, zugleich aber bis zu einer Gränze von der Zeit, in der sie entladen wird. Die Zersetzung erfordert Zeit, die nicht unter eine bestimmte Gröfse sinken darf. Mit gleicher Elektricitätsmenge wird man daher eine stärkere Zersetzung erhalten, wenn sie langsam, als wenn sie schnell durch die zersetzbare Substanz geführt wird. Ich stellte zwei in den Schliefsungsbogen einer Batterie eingeschaltete Platinspitzen in die Entfernung von 3 Lin. auf ein mit Jodkalium genäfstes Papier. Als die Elektricitätsmenge 2 aus 5 Flaschen durch das Papier entladen wurde, war keine Spur von Zersetzung sichtbar, die sich sogleich gesetzmäfsig einstellte, als dieselbe Menge aus 20 oder 25 Flaschen entladen wurde. Hier war der Gang der Elektricität durch das Papier durch ihre verringerte Dichtigkeit verzögert worden; leichter und schlagender tritt ein gleicher Erfolg ein, wenn man die Leitung des Schliefsungsbogens (z. B. durch eine eingeschaltete Wassersäule) verschlechtert. Eine vergröfserte Entfernung der Zersetzungsspitzen auf dem genäfsten Papiere ist aus diesem Grunde der Zersetzung günstig. Als in dem obigen Versuche die Spitzen, statt 3, auf dem Papiere 20 Lin. von einander entfernt standen, brachte noch die Elektricitätsmenge 3 aus 5 Flaschen entladen, eine Zersetzung hervor, statt dafs früher die Menge 2 wirkungslos geblieben war.

610 Zu elektrischen Zersetzungen auf Papier ist der folgende Apparat (Fig. 118.) sehr bequem. Auf einem 4 Zoll langen, $1\frac{2}{3}$ Zoll breiten Brette sind zwei parallele Metallleisten befestigt, zwischen welchen die beiden mit Knöpfen versehenen Metallstücke *a* verschiebbar sind. In jedes dieser Stücke ist ein dünner, 2 Zoll langer, gefirnifster Glasstab unter starker

Neigung gegen das Brett gekittet, und trägt das kupferne [610] Winkelstück *b c*. Dies ist doppelt durchbohrt, bei *b* horizontal, um den Leitungsdrath, bei *c* vertical, um den Zersetzungsdrath aufzunehmen. Die Zersetzungsdräthe bestehen aus dicken Platindräthen mit abgestumpfter Spitze; man läſst sie durch ihr eigenes Gewicht so weit hinabfallen, bis ihre Spitzen auf der Glasplatte stehen, auf der man die Zersetzung vornehmen will, und schraubt sie dann fest. Legt man dann das befeuchtete Papier (am besten Musterkartenpapier) auf die Glasplatte, so stehen die Spitzen darauf genügend fest. Durch die Theilung auf der Metallleiste wird die Entfernung der Platinspitzen regulirt. Mit diesem Apparate läſst sich die Elektrolyse durch sehr geringe Elektricitätsmengen bewirken. Ich habe mit einer trockenen Säule, die aus 300 Paaren Gold- und Silberscheiben bestand, auf Jodkaliumpapier den Jodfleck an dem Zuleiter erhalten. Eine kräftigere Säule von 2230 Scheibenpaaren lieferte die saueren und alkalischen Färbungen auf Lackmus- und Curcumäpapieren, die mit einer Lösung von Glaubersalz oder salpetersaurem Baryt befeuchtet waren. Bei der Zersetzung des Jodkalium ist zu merken, daſs die Ausscheidung des Kalium am Ableiter nicht sichtbar wird. Ich verband die eine Platinspitze des Apparates mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine, die andere mit einer Ableitung. Als der Conductor bei 3 Scheibenumdrehungen positive Elektricität abgab, erschien unter der zuleitenden Platinspitze ein starker Jodfleck, der noch immer sichtbar blieb, als durch 60 Umdrehungen negative Elektricität durch dieselbe Spitze geleitet wurde.

611 Elektrolyse des Wassers. Nach dem, §. 606 angegebenen, Gesetze müſste bei dem Durchgange eines elektrischen Stromes durch Wasser, an dem Zuleiter Sauerstoffgas, an dem Ableiter Wasserstoffgas entwickelt werden. Daſs dies geschehe, ist zu verschiedenen Zeiten behauptet worden. Ritter[1]) brachte einen Zinkdrath und einen Platindrath in eine Röhre mit Wasser, in welchem die Enden der Dräthe 3 Lin. von einander standen. Als der Zinkdrath mit dem positiven

---

[1]) Das elektr. System der Körper.* Leipz. 1805. 174.

[611] Conductor einer Elektrisirmaschine, der Platindrath mit der Erde verbunden war, entwickelte sich nur an dem Platin Gas, während das Zink seinen Glanz verlor und oxydirt wurde. Da die Dräthe ungeschützt im Wasser standen, so ist es wahrscheinlich, dafs der am Zinkdrathe mit dem Sauerstoff zugleich entwickelte Wasserstoff der Beobachtung entging, und das am Platin entwickelte Gas Knallgas war. Davy [1]) leitete durch eine in Glas gekittete Platinspitze positive Elektricität in Wasser, und liefs die Elektricität sich durch Baumwollenfäden aus dem Gefäfse in die Luft zerstreuen. Er erhielt an der Platinspitze Sauerstoffgas mit einer Beimengung anderer Gase, die er von der in dem Wasser befindlichen Luft ableitete. Derselbe Apparat gab, wenn ihm negative Elektricität zugeführt wurde, unreines Wasserstoffgas. Faraday [2]) konnte für die Elektrolyse des Wassers keinen entscheidenden Versuch erhalten, und erklärte die bis dahin angestellten Versuche für zweifelhaft. Später hat Armstrong [3]) durch die Dampf-Elektrisirmaschine, welche Elektricität in früher nicht gekannter Menge liefert, diese Elektrolyse angeblich wirklich ausgeführt. Das Wasser befand sich in zwei durch einen feuchten Faden mit einander verbundenen Gläsern, in das eine tauchte ein Drath, der negative Elektricität von der Maschine erhielt, in das andere ein Drath, der zu einem Brunnen abgeleitet war. An dem ersten Drath, den wir als den Ableiter betrachten, wurde das doppelte Volumen Gas entwickelt als am zweiten, und das erste Gas erwies sich als Wasserstoffgas, das zweite als Sauerstoffgas. Da indefs der Beobachter bemerkt, dafs die Gasentwickelung in derselben Weise stattfand, wenn der elektrische Strom durch eine Unterbrechung in dem einen Drathe mit einem Funken überging, so kann erst eine Wiederholung des Versuches und genaue Prüfung der gewonnenen Gase entscheiden, ob hier wirklich eine elektrische Zersetzung des Wassers stattgefunden hat.

---

[1]) Gilbert Annalen* 28. 158.
[2]) *Exper. research.* al.* 330. 339.
[3]) Poggend. Ann.* 60. 354.

Sechstes Kapitel.

Die physiologische Wirkung der Entladung.

Unter physiologischer Wirkung der Entladung wird die Wirkung auf den lebenden pflanzlichen und thierischen Organismus verstanden. Die Versuche an Pflanzen, die an den mit auffallender Beweglichkeit begabten, *Mimosa pudica, Berberis vulgaris, Hedysarum gyrans,* angestellt worden sind, haben aber zu keinem Resultate geführt, da es zweifelhaft geblieben ist, ob nicht eine beobachtete Wirkung der Reibungselektricität rein mechanischer Natur war. Wird ein Mensch isolirt und mit dem Conductor einer Maschine in Verbindung gesetzt, so empfindet er bei dem Elektrisiren ein Aufsträuben der Haare und eine Spannung der Haut.. Bei Annäherung des Gesichtes oder der oberen Handfläche an einen stark elektrisirten Körper erhält man eine Empfindung wie bei dem Berühren von Spinneweben. Hauksbee, der dieses Gefühl zuerst wahrnahm[1]), vergleicht es einer Reizung der Haut durch eine Menge feiner Härchen. Diese Erscheinungen sind von einer elektroskopischen Wirkung auf die äufserliche Haut abzuleiten; eine physiologische Wirkung der Elektricität erfährt der Beobachter, wenn er einen Funken aus dem Conductor zieht, oder seinen Körper in den Schliefsungsbogen einer Batterie einschaltet. Der Eindruck des letzten Versuches, als er zuerst angestellt wurde, war so stark, dafs Muschenbroek erklärte, er wolle nicht für die Krone Frankreichs den Versuch wiederholen, und von Anderen nicht minder übertriebene Berichte darüber abgegeben wurden. Aber der Schrecken wich bald der Neugier, und es läfst sich ohne Uebertreibung behaupten, dafs der einzige Versuch über die Wirkung auf den menschlichen Körper häufiger angestellt worden ist, als alle

612

[1]) *Phil. transact.* 1706. — *abridg.** 5. 324.

[612] übrigen elektrischen Versuche zusammengenommen. Dessenungeachtet wissen wir von den näheren Bestimmungen keines Versuches weniger, als gerade von diesem, und nirgends ist die Unbestimmtheit der Bezeichnung gröfser als hier. Was als *elektrischer Schlag, elektrische Erschütterung* bezeichnet wird, begreift die Gesammtheit sehr verschiedener Empfindungen. Die Entladung bewirkt die Erregung der Gefühlsnerven, die als Schmerz empfunden wird, eine unwillkürliche Zusammenziehung der Muskeln, die gleichfalls schmerzlich sein kann, ein Erschrecken, das mit dieser Zusammenziehung verbunden ist, und endlich einen örtlichen Schmerz an den Stellen des Körpers, an welchen der Entladungsstrom ein- oder austritt. Da der örtliche Schmerz nur in dem Falle empfunden wird, wo die Entladung von einem schlechtleitenden Medium aus, wie die Luft, den Körper trifft, so kann dieser von den übrigen Empfindungen streng geschieden und gesondert abgehandelt werden.

Die elektrische Erschütterung wird gewöhnlich durch die leydener Flasche hervorgebracht, kann jedoch auch von besonders gestalteten einfachen Conductoren erhalten werden. So fand Wilson [1]) im Jahre 1777, dafs der Funke seines langen Drathconductors (§. 605.) die Erschütterung im ganzen Körper hervorbrachte, und Volta [2]) schrieb ein Jahr später eine eigene Abhandlung über den Schlag, den er von einem aus dünnen versilberten Stäben zusammengesetzten, 96 Fufs langen Conductor erhalten hatte.

Die elektrische Erschütterung.

613 Von der gemischten Erscheinung im thierischen Körper, welche die elektrische Erschütterung ausmacht (§. 612.), liefs sich hoffen, die unwillkürliche Muskelzusammenziehung ausscheiden und gesondert studiren zu können. Viele kaltblütigen Thiere behalten nämlich längere Zeit nach ihrem Tode die Reizbar-

---

[1]) *Philosoph. transact.* 1778. — *abridg.** 14. 351.
[2]) *Collezione dell' opere** I_1. 167.

keit der Bewegungsnerven, und können daher, getödtet, zu [613] Zuckungen durch die Entladung gebracht werden. Der erste, zufällig angestellte, Versuch dieser Art ist sehr berühmt geworden, da er die Entdeckung des fruchtbarsten Gebietes der Physik, des Galvanismus, veranlaſst hat. Der Dr. Galvani [1]) in Bologna hatte einen Frosch enthäutet und den Schenkel desselben mit frei gelegten Nerven auf einen Tisch gelegt, auf dem sich eine Elektrisirmaschine befand. Ein Gehülfe berührte absichtslos den Schenkelnerven des Frosches mit der Spitze des Secirmessers und bemerkte, daſs der Schenkel convulsivisch zuckte, so oft aus dem Conductor der Maschine ein Funke gezogen wurde. Der Schenkel wurde hier durch eine eigenthümliche elektrische Entladung bewegt, die wir unter dem Namen des Rückschlages kennen lernen werden (§. 781.). In Folge dieses Versuches brachte Volta [2]) die Zuckungen durch gewöhnliche Entladungen hervor. Er gebrauchte todte Frösche, die entweder unverletzt, oder geköpft, oder durch eine in das Rückenmark gesteckte Nadel getödtet waren. Die Zuckung trat ein, als durch den Frosch eine leydener Flasche entladen wurde, deren Belegung 3 Quadratzoll betrug, und die so schwach geladen war, daſs sie ein feines Strohhalmelektroskop zu 5 bis 6 Grade Divergenz brachte. Mit einer Flasche von 12 Quadratzoll Belegung genügte eine Ladung bis 2 oder 3 Grad des Elektroskops. Bei diesen Ladungen der Flaschen war der Entladungsfunke fast ohne Geräusch nur im Finstern sichtbar, und hatte keine merkliche Schlagweite. Noch viel geringer waren die zur Zuckung nöthigen Ladungen der Flasche, wenn der Frosch enthäutet und so zubereitet wurde, daſs die Beine nur durch die Schenkelnerven mit einem Stück der Wirbelsäule zusammenhingen.

614 Eine Vergleichung der Stärke der Zuckungen bei verschiedenen Ladungen einer Flasche stöſst auf groſse Schwierigkeiten. Das Froschpräparat hat nach dem Lebenszustande des Frosches eine verschiedene Empfindlichkeit, und ändert diese mit der Länge der Zeit, die nach dem Tode des Thieres

[1]) *De viribus electricitatis in motu musculari. Bologna* 1791. Du Bois-Reymond Untersuchungen üb. thierische Elektricit.* Berl. 1848. 1. 33.

[2]) *Sull' elettricità animale mém. sec. Collezione dell' opere** II$_1$. 75.

[614] verflossen ist. Strenge Beweiskraft haben daher nur Versuche, in welchen je nach der verschiedenen Beschaffenheit des Apparates eine Zuckung oder keine eintritt. Nun muſs aber ein Entladungsstrom, der keine Zuckung hervorbringt, so auſserordentlich schwach sein, daſs seine Messung nicht mit der nöthigen Schärfe ausgeführt werden kann. Es sind deshalb diese Versuche mit Hülfe der Reibungselektricität nicht weiter geführt, und fast ausschlieſslich mit galvanischen Strömen angestellt worden. Für diese hat Du Bois[1]) das Gesetz abgeleitet, daſs die Stärke der augenblicklichen Erregung der Bewegungsnerven nicht mit dem Werthe der Stromdichtigkeit in den Nerven wächst, sondern mit der Gröſse der Aenderung dieser Dichtigkeit von einem Augenblicke zum andern. Das Resultat dieser einzelnen Erregungen, die unwillkürliche Muskelbewegung, nimmt daher mit der Gröſse dieser Veränderung und mit der Dauer des elektrischen Stromes zu. In Bezug auf die Empfindungsnerven soll dieselbe Regel gelten, auſserdem aber noch die absolute Gröſse der Stromdichtigkeit in Betracht kommen. Uebertragen wir diese Bestimmungen auf den Entladungsstrom der elektrischen Batterie, so zeigt sich, daſs dadurch die Frage nach der Abhängigkeit des elektrischen Schlages von der Elektricitätsmenge, ihrer Dichtigkeit in der Batterie und der Beschaffenheit des Schlieſsungsbogens nur unter gewissen Voraussetzungen beantwortet wird.

615 Es bezeichne q die Elektricitätsmenge in der Batterie, y ihre Dichtigkeit und V den Verzögerungswerth des Schlieſsungsbogens, so ist nach §. 436 die Entladungszeit der Batterie $Z = (1 + bV)\frac{q}{y}$. In dieser Zeit kommt die Dichtigkeit der Batterie von y auf Null zurück. Wir wollen, der Einfachheit wegen, die Abnahme der Dichtigkeit der verflossenen Zeit proportional setzen, so wird die Curve der Dichtigkeiten eine gerade Linie (Fig. 119.), die Hypothenuse zur Zeit Z und der anfänglichen Dichtigkeit $y_\circ$. Jeder Punkt des Schlieſsungsbogens, und daher auch des darin eingeschalteten Nerven, kommt gleichfalls in der Zeit Z von der Dichtigkeit $y_\circ$ auf

[1]) Untersuchungen üb. thier. Elektr.* 1. 259. 289.

Null, und die gesammte Erregung des Nerven soll nach der [615] Regel des vorigen Paragraphs mit der Zeit Z wachsen und mit der Gröſse der Abnahme der Dichtigkeit in der Zeiteinheit, hier also mit der Gröſse des Winkels α. Nun aber läſst sich die Zeit Z nicht vergröſsern, sei es durch V, q oder y, ohne daſs der Winkel α verkleinert würde, und da die Function, durch welche die Nervenerregung mit beiden Elementen zusammenhängt, nicht bekannt ist, so läſst sich nicht bestimmen, welches Element den Ausschlag geben wird. Nur in dem speciellen Falle, wo Z constant bleibt, wird α mit y wachsen, und die Erregung der Nerven unbedingt zunehmen. Dies ist der sehr bekannte Fall, in welchem V und $\frac{q}{y}$ constant gesetzt sind, wo man also bei ungeänderter Batterie und demselben Schlieſsungsbogen immer stärkere Elektricitätsmengen anwendet, wodurch, wie die Erfahrung lehrt, ein immer stärkerer Entladungsschlag erhalten wird.

616 Zum Verständnisse der übrigen Fälle müssen wir einige Sätze zu Hülfe nehmen, die zum Theil hypothetisch und erst aus physiologischen Versuchen abgeleitet sind. Zuerst ist zu merken, daſs der elektrische Zustand der Batterie und der Nerven während der Entladung der Batterie nicht so einfach ist, wie ich im vorigen Paragraphe angegeben habe. Die Entladung der Batterie besteht, wie sich darthun läſst (§. 635.), aus einer groſsen Menge von Partialentladungen, durch welche die Batterie in gesonderten Stöſsen entladen, und jeder Punkt des Schlieſsungsbogens oft nacheinander elektrisch und unelektrisch wird. Die in Fig. 119 gezeichnete Linie giebt den Gang der höchsten Dichtigkeiten an, die der Nerv in einzelnen, von Null anfangenden, Curven erreicht. Die Dichtigkeitslinie für den Nerven muſs eine kammförmige Curve sein, deren Zähne, von dem ersten Augenblicke der Entladung an, fortwährend an Höhe abnehmen (Fig. 120.). Jeder Zahn entspricht einer Partialentladung. Nimmt man nun an, daſs die Erregung des Nerven *nur dann* mit der Entladungszeit wächst, wenn in dieser die Zahl der Partialentladungen vermehrt wird, auſserdem aber nicht nur von der Steilheit der Linie, welche die Maxima der einzelnen Curven verbindet, sondern auch von

[616] der Steilheit der Curven selbst abhängt, so kommt man zu folgender Abhängigkeit der Erregung von der Elektricitätsmenge, der Dichtigkeit in der Batterie und der Beschaffenheit des Schliefsungsbogens.

Elektricitätsmenge. Mit Vermehrung der Menge nimmt nach dem Ausdrucke $Z = (1 + bV)\frac{q}{y}$ die Entladungszeit zu. Es ist aus später (§. 639.) anzuführenden Erfahrungen zu schliefsen, dafs die Zahl der Partialentladungen in gleichem Verhältnisse mit der Elektricitätsmenge vermehrt wird. Legt man also die Curve Fig. 120 zu Grunde, so erhält man durch Vergröfserung der Elektricitätsmenge eine Curve in der Form Fig. 120_q. Man sieht eine Vermehrung der Zahl der Entladungen und der Steilheit der einzelnen Curven, wogegen die Steilheit der Linie der Maxima vermindert ist. Es ist also erklärlich, dafs die Nervenerregung mit der Elektricitätsmenge wächst.

Beschaffenheit des Schliefsungsbogens. Durch Vergröfserung von V, also Verringerung des Leitungsvermögens im Schliefsungsbogen, nimmt die Entladungszeit zu, während die Zahl der Partialentladungen ungeändert bleibt oder verringert wird (§. 641.). Der Anblick der Fig. 120_v zeigt, dafs dadurch die Steilheit der Curven der Maxima, wie die der einzelnen Curven, verringert wird, was eine Verminderung der Nervenerregung zur Folge haben mufs.

Dichtigkeit. Mit Vergröfserung der Dichtigkeit wird die Entladungszeit verkleinert, die aber ohne Einflufs bleibt, weil die Zahl der Partialentladungen nicht geändert wird (§. 640.). Nach der Fig. 120_y wird die Steilheit der Linie der Maxima und die der einzelnen Curven vergröfsert; es tritt daher nothwendig eine Verstärkung der Stromerregung ein.

617 Wir kommen nun zu den bisher angestellten Versuchen über die elektrische Erschütterung. Du Bois [1]) lud 1, 2, 3 Flaschen einer Batterie mit Elektricitätsmengen, die sich beziehungsweise wie 1 zu 2 und 3 verhielten, und schaltete seinen Körper in den Schliefsungsbogen ein, indem er damit verbun-

[1]) Untersuchungen üb. thier. El.* 1. 289.

dene kupferne Cylinder mit den Händen faſste. Der Schlag [617] aus einer Flasche wurde nur im Handgelenke, der aus dreien auch im Ellenbogengelenke empfunden. Man sieht, daſs hier von den Bedingungen des Schlages nur die Elektricitätsmenge geändert war, deren Vermehrung die Zuckung nach §. 616 verstärkt. Munk af Rosenschöld[1]) brachte einen gepülverten Halbleiter in eine lange, 1½ Linien weite, Glasröhre, die an einem Ende mit Blei geschlossen, und von deren offenem Ende ein Eisendrath in das Pulver geführt war. Der Drath war mit der Auſsenseite einer leydener Flasche verbunden, das Bleiende der Röhre stand auf einer Kupferplatte, auf die der genäſste Finger der einen Hand des Beobachters gelegt war, während derselbe die andere Hand an den Knopf der Flasche brachte und die Flasche entlud. Der Schlag im Finger war verschieden, je nach der Länge der gepülverten Substanz zwischen dem Ende des Eisendrathes und dem Metallboden der Röhre. Wurde der Schlag nicht gefühlt, so konnte er durch vorsichtiges Eindrücken des Drathes in das Pulver merklich gemacht werden. Dies Mittel ist, wie ich früher angegeben habe (§. 29.), zur Beurtheilung des Leitungsvermögens der in der Glasröhre befindlichen Substanz benutzt worden. Durch den Einschluſs in der Röhre war hier der Halbmesser der Pulversäule constant, es ist daher ihr Verzögerungswerth $V = lx$, dem Producte der Länge der Säule in die Verzögerungskraft der Substanz. Die Verringerung von l durch das Eindrücken des Eisendrathes in das Pulver, brachte eine Verringerung von V und damit, nach §. 616, eine Verstärkung des physiologischen Effectes hervor. War der Schlag constant, was durch die erste merkliche Empfindung im Finger constatirt wurde, so muſste V constant sein. Alsdann hat man $x = \frac{1}{l}$, die Verzögerungskraft der Substanz umgekehrt proportional der Länge der Säule (das Leitungsvermögen direct proportional der Länge). — Daſs endlich mit Vermehrung der Dichtigkeit der Schlag verstärkt wird, kann man an jeder Batterie leicht erfahren, indem man eine bestimmte Elektrici-

[1]) Poggend. Ann.* 34. 445.

[617] tätsmenge in eine immer geringere Anzahl von Flaschen führt, und den Schlag durch seinen Körper gehen läßt.

618 Der elektrische Schlag nimmt sowol mit der Elektricitätsmenge als mit der Dichtigkeit zu, aber nicht in gleichem Verhältnisse, wie dies bei der Wärmeerregung der Fall ist, so daß in Bezug auf die physiologische Wirkung eine doppelte Elektricitätsmenge nicht durch eine doppelte Dichtigkeit ersetzt wird. Welche von beiden Bedingungen den größeren Einfluß auf den Schlag hat, darüber sind die folgenden Versuche angestellt worden. Volta[1]) setzte eine Wassermasse durch einen Metallstreifen mit der äußeren Belegung eines Ladungsglases in Verbindung, tauchte den kleinen Finger der einen Hand in das Wasser, und entlud das Glas durch ein Metallstück, das er in der andern angefeuchteten Hand hielt. Er suchte nun bei verschiedener Größe der Belegung die kleinste Ladung des Glases, bei welcher noch ein Schlag im kleinen Finger gefühlt wurde. Die Divergenz eines feinen Strohhalmelektroskops, das mit dem Innern des Glases verbunden war, sollte die Größe der Ladung bestimmen. Es wurde gefunden

bei der Belegung von	1	2	4	8	16 Quadr.-Zoll
Divergenz ungefähr	45°	25	14	8	$4\frac{1}{2}$

Aus diesen Versuchen ist kein allgemein gültiger Schluß zu ziehen, da die Anzeigen des Elektroskops nur eine sehr rohe Schätzung der Elektricitätsmenge und Dichtigkeit zulassen. Wichtiger wurden die Versuche dadurch, daß Volta danach kleinere und größere Flaschen so laden konnte, daß sie einen Schlag von gleicher Stärke geben mußten. Hierbei wurde ein merkwürdiger Unterschied in der Qualität des Schlages gefunden, der sich deutlich wahrnehmen, aber nur unvollkommen beschreiben läßt. Volta nennt die Schläge der kleinen Flaschen, also der mit dichterer Elektricität von geringerer Menge geladenen, lebhaft, scharf und vibrirend, die der größeren voll und tief. Man könnte die ersteren, bei Weitem unangenehmeren, als spitze, die letzteren als stumpfe Schläge bezeichnen.

---

[1]) Gilbert Annalen* 14. 261.

619 Zur Lösung der angeführten Frage lud Cavendish[1]) von 4 gleichen Flaschen Eine bis zu einer bestimmten Divergenz eines Elektroskops, maſs die Schlagweite der Flasche, und versuchte die Stärke des Schlages. Es wurden darauf 2 Flaschen zu der früheren Divergenz des Elektroskops geladen, und dann mit den übrigen beiden verbunden. Die Schlagweite der 4 Flaschen war nur die Hälfte der früheren, der Schlag aber entschieden stärker. Hier haben wir genaue Angaben, aus welchen zu schlieſsen ist, daſs die Elektricitätsmenge 1 mit der Dichtigkeit 1 einen schwächeren Schlag giebt, als die Elektricitätsmenge 2, die nur die Dichtigkeit $\frac{1}{2}$ besitzt. Beide Entladungen muſsten in dem Schlieſsungsdrathe genau dieselbe Wärme erregen. Da die Dichtigkeit $\frac{1}{2}$ die Menge 2 nicht auf einen Schlag derselben Stärke zurückzuführen vermochte, den die Dichtigkeit 1 und Elektricitätsmenge 1 ertheilte, so folgt, daſs die physiologische Wirkung in gröſserem Verhältnisse mit der Elektricitätsmenge wächst, als mit der Dichtigkeit.

620 Ueber die Erregung der Sinnesnerven durch die elektrische Entladung sind nur wenige Erfahrungen vorhanden, die zumeist an kranken Personen gewonnen wurden. Le Roy[2]) lieſs den Schlag auf einen am schwarzen Staar erblindeten jungen Mann wirken, indem er dessen Kopf und rechtes Bein mit einem Messingdrathe umwand, und durch die Enden der Dräthe eine leydener Flasche entlud. Die Erblindung des Mannes war so stark, daſs er von drei brennenden Kerzen nur den Eindruck der Wärme, nicht des Lichtes erhielt. Bei jeder Entladung der Flasche glaubte er eine Flamme von oben nach unten vorbeischweben zu sehen, und hörte einen Knall wie von grobem Geschütze. Als Wilcke eine Flasche durch Stirn und Arm entlud, hörte er einen Knall gleich einem starken Pistolenschusse[3]). Le Roy leitete den Schlag allein durch den Kopf des Blinden, indem er über den Augen und am Hinterkopfe desselben Metallplatten befestigte, die mit den Belegungen einer Flasche verbunden wurden. Bei

[1]) *Phil. transact.* 1776. — *abridg.** 14. 26.
[2]) *Mém. de mathem. etc. de l'Acad. de France* 1755. — *in*-12* 91.
[3]) Franklin's Briefe über Elektr.* Leipz. 1758. 312.

[620] dieser Anordnung erschienen dem Kranken durch die Entladung erkennbare Gegenstände, einzelne Personen, in Reihe gestellte Volkshaufen und so weiter. Die lange fortgesetzte Behandlung mit Elektricität hatte übrigens keine Besserung des Sehvermögens zur Folge. Auch die Geschmacksnerven werden durch die elektrische Entladung erregt, aber der säuerliche Geschmack, den man empfindet, wenn man den elektrischen Büschel oder kleine Funken mit der Zunge auffängt, läfst sich mit Grund keiner directen elektrischen Einwirkung, sondern besser der in der Luft gebildeten Salpetersäure und dem Ozon (§. 595.) zuschreiben. Bei unmittelbarer Berührung eines stark elektrisirten Conductors mit der Zunge empfand zwar Heidmann[1]) keinen Geschmack, Volta hingegen bemerkte einen sauern Geschmack, als er die Zunge an den positiv elektrischen Conductor einer Maschine legte, oder in das Wasser eines mit demselben verbundenen Gefäfses tauchte, und einen herben brennenden wie alkalischen Geschmack, als der Conductor negativ elektrisch war[2]).

621 Der Gesammteindruck, den ein und derselbe elektrische Schlag auf verschiedene Personen hervorbringt, ist sehr verschieden. Man prüft dies, indem man von mehreren Personen je zwei einander die Hände reichen, und von der ersten und letzten Person die Belegungen einer Flasche berühren läfst. Nollet hat in dieser Weise den Schlag 600 Personen gleichzeitig gegeben. Nicht selten finden sich Personen, die denselben Schlag nur sehr wenig empfinden, der Anderen sehr schmerzlich erscheint. Musschenbroek machte diese Erfahrung an einem starken 50jährigen Manne, einem gelähmten jungen Manne und einer gesunden Frau von 40 Jahren. Allgemein wird der Schlag am stärksten in den Gelenken empfunden; wenn also eine Flasche durch beide Arme entladen wird, in den Finger-, Handwurzel- und Ellenbogengelenken. Du Bois schreibt diesen Umstand dem, im Verhältnisse zu den übrigen Geweben, geringen Leitungsvermögen zu, das die in jedes Gelenk eingeschaltete Knorpelplatte besitzt. Läfst

[1]) Theorie der Elektr.* Wien 1799. 2. 62.
[2]) *Sull' elettr. animale lettera 2da a Vassalli. Collezione dell' opere di Volta.** II_1. 208.

man den Erschütterungsschlag durch den Kopf einer stehenden Person gehen, so sinkt dieselbe in sich zusammen, als ob alle Gelenke plötzlich ihre Steifheit verlören und zusammenklappten. Franklin warf sechs Männer gleichzeitig nieder, indem er Jeden die Hand auf den Kopf des Nachbars legen liefs, und eine Batterie durch den Kopf des Ersten und Arm des Letzten entlud. Wilcke[1]) empfing einen Schlag unvorbereitet durch Kopf und Fufs, und beschreibt seine Empfindung mit folgenden Worten. Indem ich hinzugehe, falle ich auf einmal ohne alle Besinnlichkeit zu Boden. Das Zurufen eines gegenwärtigen Freundes ermunterte mich zwar bald wieder, ich wufste aber im geringsten nicht, was mir geschehen war, und konnte gar nicht begreifen, warum und wie ich auf die Erde gekommen wäre. Es schwebte mir, ehe das Licht wieder in das Zimmer hineingebracht war, der Gedanke vor, als hätte ich mich mit den Füfsen in eine grofse Menge von Stricken verwickelt, davon doch auf dem Boden des Zimmers nichts zu sehen war. An mir selber fühlte ich Anfangs weiter nichts als die Empfindung, die ich eher ein sinnliches Bewufstsein meines Körpers und aller Theile desselben, als ein Zittern nennen wollte. [621]

Der örtliche Schmerz durch die elektrische Entladung.

622 Die elektrische Entladung pflanzt sich in Isolatoren in ganz anderer Weise fort, wie in guten Leitern, und macht sich daselbst durch mechanische Wirkung und Lichterscheinung bemerkbar (§. 549.). Diese eigenthümliche Fortpflanzung findet aber auch in einiger Tiefe des guten Leiters statt, der den Isolator begränzt, wie die Verletzung der Oberfläche grofser Metallmassen zeigt, auf die der Funke aus der Luft schlägt. Derselbe Umstand bewirkt die Erregung der Hautnerven, wenn wir einen Funken mit einem Theile des Körpers auffangen, und erzeugt daselbst den *örtlichen Schmerz*, der vermieden wird, wenn der Körper durch Metallstücke,

---

[1]) Franklin Briefe über Elektr.* 811.

[622] welche die Haut in gröfserer Ausdehnung innig berühren, in den Schliefsungsbogen einer Batterie eingeschaltet wird. Dieser örtliche Schmerz ist gänzlich verschieden von dem Erschütterungsschlage und befolgt andere Gesetze. Er nimmt nicht nur zu mit der Elektricitätsmenge in der Batterie und deren Dichtigkeit, sondern auch mit der Abnahme des Leitungsvermögens im Schliefsungsbogen, während die Erschütterung mit der letztern abnimmt (§. 617). Entladet man eine schwach geladene Batterie in der Weise, dafs man das Ende des metallischen Schliefsungsbogens mit der einen Hand fafst, und mit der andern den Funken aus dem Innern der Batterie zieht, so empfindet man die Erschütterung, aber nur einen geringen Schmerz an der Hand. Befindet sich aber ein Halbleiter (Holz, Wasser) im Schliefsungsbogen, so ist bei demselben Versuche keine Erschütterung merklich, während man an der Hand einen starken, schneidenden Schmerz empfindet. Der örtliche Schmerz verhält sich ganz so wie die Zündung fester Körper, die durch die Einschaltung von Halbleitern in den Schliefsungsbogen befördert wird (§. 605.). Wir werden hierdurch darauf hingewiesen, dafs dieser Schmerz von einer anfangenden Verletzung der Haut herrührt, die nach den folgenden Erfahrungen zu einer wirklichen Verwundung gesteigert werden kann.

623 Als Collinson den Schlag einer stark geladenen Batterie mit der Hand auffing, zeigte sich auf dieser eine Anschwellung von der Gröfse einer halben Pistolenkugel. Ebenso bemerkte Wilcke nach dem oben beschriebenen Schlage am Kopfe und dem linken Beine eine kleine Beule. Le Roy hat in einer gröfseren Versuchsreihe die Wirkung des Funkens auf die Haut untersucht. Er wendete hierbei nicht die Entladung einer Flasche an, sondern setzte einen isolirten Kranken mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine in Verbindung, und zog durch Annäherung eines Metallstückes Funken aus entblöfsten Hautstellen. Zog er den Funken aus einem fleischigen Theile des Körpers, wie dem äufseren Theile des Oberarmes, so entstand ein runder weifser Fleck, der sich später röthete und anschwoll. Ging er mit dem Funkenziehen in gerader Linie weiter, so entstand auf der Haut eine erhabene rothe Linie, an welcher der Kranke eine brennende Hitze

fühlte. Die Anschwellung der getroffenen Stellen verlor sich [623] bald, und hinterließs nach einer Stunde nur einige rothe Punkte. Wurde hingegen aus derselben Hautstelle eine gröſsere Menge von Funken gezogen, so entstand daselbst eine Blase, die eine wässrige Flüssigkeit, oft auch wirklichen Eiter enthielt, nach dessen Entfernung sich eine oft sehr harte Hautkruste bildete. Das Aussehen der Geschwüre und der durch sie verursachte Schmerz war nach der Stärke der Funken und der Form der Metallstücke verschieden, mit welchen die Funken gezogen wurden. Mit Kugeln gezogene Funken waren viel weniger schmerzhaft als die, welche mit dem Ende eines Eisendrathes oder der Spitze eines Nagels erhalten wurden. Diese Funken verursachten das Gefühl eines brennenden Stiches und Blasen, die den Brandblasen vollkommen glichen.

Dritter Abschnitt.

Mechanismus der elektrischen Entladung und ihrer Wirkungen.

Erstes Kapitel.

Die Entladung der Batterie.

Die elektrische Entladung geschieht in so aufserordentlich kurzer Zeit, dafs der Vorgang bei derselben nicht beobachtet, sondern nur aus den dabei eintretenden Erscheinungen und Wirkungen geschlossen werden kann. Es mufste daher die Betrachtung dieses Vorganges bis hieher verschoben werden, wo die hauptsächlichsten Wirkungen der Entladung als bekannt vorauszusetzen sind. Unser Augenmerk bei der Entladung wird auf zwei Punkte gerichtet sein: auf den geladenen Leiter, der unelektrisch, und auf den entladenden Leiter, welcher elektrisch wird — auf den Zustand also der Batterie und den des Schliefsungsbogens. Hierbei fasse ich hauptsächlich den zusammengesetzten Leiter, der die elektrische Batterie bildet, ins Auge, weil bei diesem allein die Wirkungen der Entladung scharf gemessen werden können, und betrachte die Entladung des einfachen Conductors nur nebenbei, oder wo Erfahrungen an der Batterie fehlen. Es findet übrigens zwischen beiden Entladungen kein wesentlicher Unterschied statt, da die Batterie aus zwei einfachen Conductoren besteht, auf welchen die Elektricität eine andere Anordnung, als die der Form der Conductoren zukommende, erhalten hat, und nicht die Anordnung, sondern die relative Dichtigkeit eines und desselben Punktes für die Entladung maafsgebend ist. 624

Zustand der Batterie während der Entladung.

625 Der Vorgang in der Batterie während ihrer Entladung wird allein aus der *Schlagweite* geschlossen, über welche ich das Nöthigste bereits früher beigebracht habe (§. 328 u. 393.). Nähert man einem bestimmten Punkte des Inneren der Batterie oder eines mit ihm verbundenen Fortsatzes, das Ende des Schliefsungsbogens, so tritt bei einer gewissen Entfernung der einander genäherten Flächen die Entladung der Batterie mit einem Funken ein. Diese Entfernung heifst die Schlagweite, und es ist gezeigt worden, dafs dieselbe der Dichtigkeit des Punktes an der Batterie, an dem die Entladung geschieht, und damit der Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie selbst proportional ist. Bezeichnet d die Schlagweite, q die Elektricitätsmenge in der Batterie, und s die Flaschenzahl derselben, so hat man

$$d = b\frac{q}{s}$$

Die Gröfse b war in den mitgetheilten Versuchen constant, da die einander genäherten Flächen und ihre gegenseitige Stellung unverändert blieben (§. 393.). Es leuchtet aber ein, dafs mit der Form jener Flächen die Dichtigkeit einzelner Punkte, und damit die Schlagweite und der Werth der Gröfse b. geändert werden müsse. Es war §. 393 der Werth b mit Hülfe zweier Kugeln bestimmt, die auf ein Funkenmikrometer (§. 330.) gesteckt waren; die eine Kugel hatte einen Durchmesser von 5,7 die andere von 4,4 Lin., und der Werth $\frac{1}{b}$ wurde 0,833 gefunden. Ich ersetzte[1]) die Kugeln durch zwei eben geschliffene, $\frac{9}{12}$ Lin. dicke Messingscheiben von 10,4 Lin. Durchmesser, die so einander gegenüberstanden, dafs ihre Centrallinie normal auf ihren Flächen stand, und suchte die zu gegebener Schlagweite und Flaschenzahl der Batterie nöthige Elektricitätsmenge. Diese Menge wurde durch eine Maafsflasche bestimmt, deren Kugeln $\frac{1}{2}$ Lin. von einander entfernt waren. Die Einheit der Schlagweite betrug, wie bei

---

[1]) Poggend. Ann.* 40. 338.

den früheren Versuchen, eine halbe Linie. Die folgenden [625] Beobachtungen zeigen, dafs durch diese Aenderung der entladenden Flächen der Werth $\frac{1}{b}$ auf 0,66 gesunken war.

$$d = b\frac{q}{s} \quad \frac{1}{b} = 0{,}66$$

s	3		4		5	
d	beob. q	ber.	beob. q	ber.	beob. q	ber.
1	1,8	2,0	2,5	2,6	3,4	3,3
2	4	4	5,1	5,3	6,7	6,6
3	5,5	5,9	7,9	7,9	11,2	9,9
4	7,6	7,9	10,3	10,6	15	13

626 Es folgt aus der Formel $d = b\frac{q}{s}$ und den beiden gefundenen Werthen $\frac{1}{b} = 0{,}833$ und 0,66, dafs, wenn die Entladung der Batterie zwischen den beiden Kugeln stattfindet, und dabei für eine bestimmte Elektricitätsmenge und Flaschenzahl die Schlagweite 1 gefunden wird, diese Schlagweite durch Anwendung der beiden Scheiben zu 1,27 vergröfsert wird. Dies ist eine nothwendige Folge davon, dafs die Elektricität sich auf der Kugel gleichförmig anordnet, auf der Scheibe gegen den Rand hin verdichtet. Wirklich fanden die Entladungen, wie die zurückgelassenen Flecke zeigten, bei den Kugeln stets an demselben Punkte statt, bei den Scheiben hingegen an verschiedenen Punkten, die dem Rande der Scheiben sehr nahe lagen. Der dem Mittelpunkte der Scheiben nächste Fleck stand noch $3\frac{1}{2}$ Lin. von jenem entfernt. Es konnte aber auch die Entladung auf den Mittelpunkt der einen Scheibe beschränkt werden, wenn diese Scheibe mit der Batterie verbunden, die ihr gegenüberstehende durch eine Kugel ersetzt wurde. Bei dieser Einrichtung wurde die Constante $\frac{1}{b} = 0{,}78$ gefunden, die Schlagweite also für dieselbe Entladung gröfser als bei Anwendung der beiden Kugeln, kleiner als bei den beiden Scheiben. Dies bestätigt die frühere Erfahrung, dafs die Anordnung der Elektricität auf einem Körper durch die Nähe eines andern Körpers wesentlich geändert wird. Auf dem Mittelpunkte der Scheibe, wo die elektrische Dichtigkeit sonst

[626] Null gewesen wäre, hatte die Anwesenheit der genäherten Kugel eine bedeutende Dichtigkeit hervorgebracht. In gleicher Weise kann die Dichtigkeit auf einem Punkte einer Kugel bedeutend verstärkt werden, wenn der Kugel eine Scheibe nahegestellt wird. Diese Vermehrung der Dichtigkeit an bestimmten Punkten elektrisirter Körper bedingt, wie früher gezeigt ist, eine entsprechende Dichtigkeit auf dem nahegebrachten Körper, der von jenem durch Influenz elektrisirt wird. Man kann daher sagen, daſs die Schlagweite gleichzeitig bestimmt wird durch die Dichtigkeit der mitgetheilten Elektricität auf dem Fortsatze der Batterie, und durch die Dichtigkeit der Influenzelektricität auf dem Ende des genäherten Schlieſsungsbogens. Dies zeigen die folgenden Versuche. Es wurde die eine von den in §. 625 gebrauchten Scheiben und eine Metallkugel von 5,7 Lin. Durchmesser auf das Funkenmikrometer gebracht, und bald die eine oder andere mit der Batterie und dem Schlieſsungsbogen verbunden. Die Verbindung mit der Batterie ist in der Tafel durch + bezeichnet. Die Funken sprangen alle auf dem Mittelpunkte der Scheibe über, und zwar bei derselben Ladung der Batterie mit merklich gleicher Schlagweite, es mochte nun Kugel oder Scheibe ihre Elektricität direct von der Batterie erhalten haben.

$$d = b\frac{q}{s} \quad \frac{1}{b} = 0{,}78$$

s	3		4		5	
	Scheibe +	Kugel +	Scheibe +	Kugel +	Scheibe +	Kugel +
d	Elektricitätsmenge q					
1	2,5		3	3	4	4
2	4,5	4,0	6,5	6,5	9,2	8,7
3	6,5	6,7	9,0	9,5	13	13
4	8,7	9,5	12	12		

627 Da die Schlagweite allein abhängt von der Anordnung der Elektricität auf den Flächen, zwischen welchen sie stattfindet, so läſst sich vorhersehen, daſs sie unabhängig bleiben werde von der Beschaffenheit des Schlieſsungsbogens, die jene Anordnung nicht zu ändern vermag. Ich verband [1]) die eine

[1]) Poggend. Ann.* 58. 5.

von den beiden Kugeln des Funkenmikrometers (jede Kugel [627] war $6\frac{1}{4}$ Linien dick) durch einen Kupferdrath mit dem Innern einer isolirten Batterie, die andere mit dem einen Arme eines allgemeinen Ausladers, dessen anderer Arm metallisch mit der Aufsenseite der Batterie in Verbindung stand. Beide Arme wurden in aufeinander folgenden Versuchen verbunden durch einen 4 Linien langen, $\frac{1}{2}$ Linie dicken Kupferdrath, durch einen Platindrath von 102 Zoll Länge, 0,052 Linie Dicke, und durch eine, mit destillirtem Wasser gefüllte Glasröhre von $4\frac{1}{2}$ Linien Weite, 8,3 Zoll Länge. Es wurde bei bestimmter Flaschenzahl und Schlagweite die kleinste Elektricitätsmenge gesucht, die eine Entladung herbeiführte, und hierdurch die Constante b in der Formel $d = b\frac{q}{s}$ bestimmt. Diese giebt die Schlagweite für die Einheit der Ladung an, womit die in 1 Flasche angehäufte Elektricitätsmenge 1 bezeichnet wird. Für die Schlagweite d war $\frac{1}{2}$ Linie die Einheit, für q die Elektricitätsmenge, die eine Entladung der Maafsflasche herbeiführte, deren Kugeln hier und weiterhin 0,3 Linie von einander standen.

Elektricitätsmengen bei bestimmter Schlagweite.

Flaschenzahl s.	Schlagweite d.	Einschaltung in den Schliefsungsbogen. Kupferdrath 4 Linien.	Platindrath 102 Zoll.	Wasserröhre.
		Elektricitätsmenge q.		
3	1	6	6	6
	2	10,2	10,5	10,5
	3	15	15	14,5
4	1	8	8	8
	2	14,5	14	14
	3	21,5	19,7	19,5
5	1	10	10	11
	2	18	19	19
	3	27	25,5	26
Schlagweite für Einheit der Ladung b		0,55	0,55	0,55

[627] Der Werth von b ist bei jeder der drei angewandten Einschaltungen in die Schliefsung merklich derselbe, woraus folgt, dafs die Schlagweite unabhängig von der Beschaffenheit des Schliefsungsbogens ist.

628 Mit der Entladung in der Schlagweite verschwindet nicht die ganze, in der Batterie angehäufte Elektricitätsmenge. Nähert man nach der Entladung die Kugeln des Funkenmikrometers einander, so erhält man eine sichtbare zweite, oft auch dritte Entladung. Die Entfernungen der Kugeln aber, bei welchen die späteren Entladungen eintreten, sind bei den gewöhnlichen Ladungen der Batterie so klein, dafs sich die rückständige Ladung nicht genau ermitteln läfst. Diese Messung ist aber leicht dadurch zu gewinnen, dafs man die Kugeln in ihrer ersten Entfernung stehen läfst, nach der Entladung die Batterie aufs Neue ladet, und die Elektricitätsmenge beobachtet, die zu einer neuen Entladung bei der früheren Schlagweite in die Batterie geführt werden mufs. Offenbar giebt der Unterschied der beiden Ladungen die in der Batterie zurückgebliebene Elektricitätsmenge an. Ich führe zuerst die Versuche bei ganz metallischem Schliefsungsbogen an, der, wie §. 627, einmal durch den kurzen Kupferdrath, das anderemal durch den langen Platindrath verlängert war. Die Ladung der Batterie geschah sorgfältig bis zum Erscheinen des Entladungsfunkens zwischen den Kugeln des Mikrometers; alsdann wurde die äufsere Belegung der Batterie einen Augenblick vollkommen zur Erde abgeleitet, und somit auch die Maafsflasche entladen, alsdann aber die zweite Ladung bewirkt, deren Elektricitätsmenge, in so fern sie zugeführt und gemessen wurde, in der folgenden Tafel enthalten ist.

Zugeführte Elektricitätsmenge der zweiten Ladung. [628]

Flaschenzahl s	Schlagweite d	Einschaltung in den Schliefsungsbogen Kupferdrath 4'''	Platindrath 102''
		Elektricitätsmenge q'	
3	1	5	5
	2	8,8	8,7
	3	13	12,5
4	1	6,5	6,5
	2	12,5	11,7
	3	17	17
5	1	9	9
	2	15	16,5
	3	22,5	22,5
Schlagweite für Einheit der Ladung b'		0,65	0,65

Die Elektricitätsmengen, welche bei den verschiedenen Schliefsungsdräthen hinzugeführt werden mufsten, um eine zweite Entladung zu bewirken, sind merklich gleich, es folgt also, dafs dieselbe Elektricitätsmenge bei der Entladung in der Schlagweite verschwindet, und daher dieselbe Elektricitätsmenge in der Batterie zurückbleibt, es mag nun der sonst gut leitende Schliefsungsbogen durch einen 4 Linien langen, ¼ Linie dicken Kupferdrath oder durch einen 102 Zoll langen, 0,052 Linie dicken Platindrath verlängert worden sein. Der Verzögerungswerth dieser beiden Verlängerungen ist eben so verschieden, als ob von einem und demselhen Drahte eine Länge von 4 Linien und von 5017 Fufs gebraucht worden wäre. Würde man also Dräthe solcher Länge successiv zu dem Schliefsungsbogen hinzusetzen, so liefse sich noch kein Unterschied in der Elektricitätsmenge bemerken, die bei der Entladung in der Schlagweite verschwindet. Ob bei noch gröfserer Verschiedenheit des Verzögerungswerthes des metallischen Schliefsungsbogens oder bei einer feineren Methode, die rückständige Ladung zu bestimmen, ein solcher Unterschied gefunden werden würde, kann dahingestellt bleiben. 629

Dafs die in der Schlagweite verschwindende Elektricitätsmenge den gröfsten Theil der Ladung der Batterie ausmacht, 630

[630] zeigen die in §. 627 und §. 628 mitgetheilten Versuche, welche die vollständige zur Entladung nöthige, und die nach der Entladung fehlende Elektricitätsmenge angeben. Da nämlich $q = \frac{1}{b}\, ds$ die ganze Elektricitätsmenge bezeichnet, die für die Schlagweite d und Flaschenzahl s erfordert wird, und $q_{,} = \frac{1}{b_{,}}\, ds$ die zur zweiten Ladung nöthige Menge, so hat man $\frac{q_{,}}{q} = \frac{b}{b_{,}}$ für den bei der Entladung verschwundenen Theil der in die Batterie geführten Elektricität. Dieser Bruch hat nach den angeführten Versuchen den Werth $\frac{11}{13}$, und ich habe in vielen, bei sehr verschiedenen atmosphärischen Zuständen angestellten Versuchen dafür einen nur wenig abweichenden Werth gefunden. Es blieb zu untersuchen, ob dieser Verlust von der Form der die Entladung bewirkenden Flächen abhängt, die den Werth der Schlagweiten ändert. Ich stellte auf die Zapfen des Funkenmikrometers an die Stelle der Kugeln zwei Scheiben aus Messing von $8\frac{1}{6}$ Linien Durchmesser, die einander nicht ganz parallel standen, so dafs die Entladung stets an derselben Stelle nahe dem Rande der Scheiben stattfand. Es wurde zuerst die vollständige Ladung q beobachtet, und sodann die Elektricitätsmenge $q_{,}$, die nach der Entladung in die Batterie geführt werden mufste, um eine zweite Entladung in gleicher Schlagweite zu bewirken.

Elektricitätsmenge bei bestimmter Schlagweite zwischen Scheiben.

Flaschenzahl s	Schlagweite d	Ganze Ladung Elektr. Menge q	Hinzukommende Ladung q'
3	1	5,0	4
	2	9,5	8
	3	13,5	11,5
4	1	6,5	6
	2	12,5	11
	3	19	16
5	1	8,5	7,5
	2	17	14
	3	24	20,5
Schlagweite für Einheit der Ladung		$b = 0,62$	$b' = 0,73$

Die in der Schlagweite verschwundene Elektricitätsmenge $\frac{b}{b_{\prime}}$ [630] ist hier gleich $\frac{62}{73}$, also nur wenig gröſser, als bei den Kugeln.

631 Eine Aenderung der Schlagweite wird auch dadurch herbeigeführt, daſs man den Schlieſsungsbogen an einer Stelle durch eine Luftschicht unterbricht, dadurch also einen Theil des Bogens isolirt. Ob der in der Schlagweite verschwindende Theil der Elektricitätsmenge hierdurch geändert wird, wurde durch folgenden Versuch ausgemacht. Ich brauchte wieder zur Entladung der Batterie die Kugeln des Funkenmikrometers (§. 627.), verband aber die freien Enden der Arme des Ausladers mit zwei Metallkugeln (die eine von 5,7, die andere von 4,4 Lin. Durchmesser), die, auf Glasfüſsen isolirt, 0,3 Lin. von einander entfernt standen. Der Entladungsfunke muſste daher an zwei Stellen, zwischen den Kugeln des Mikrometers und zwischen den Kugeln des Ausladers, übergehen, und die Schlagweite für die Einheit der Ladung fiel bedeutend kleiner aus, als bei voller Schlieſsung. Die folgende Tafel zeigt die Elektricitätsmengen, die zur vollen Ladung, und nach der ersten Entladung nöthig waren.

Elektricitätsmenge bei bestimmter Schlagweite und unterbrochenem Schlieſsungsbogen.

Flaschenzahl s	Schlagweite d	Ganze Ladung Elektr. Menge q	Hinzukommende Ladung q'
3	1	7,5	6
	2	13	11
	3	18	15
4	1	8	7
	2	16	13
	3	22	19
5	1	12	10
	2	21	18
	3	28	25
Schlagweite für Einheit der Ladung		$b = 0,48$	$b' = 0,57$

Die in der Schlagweite verschwundene Elektricitätsmenge betrug hier $\frac{16}{19}$ der anfänglichen Ladung. Wir haben demnach

[631]

	in der Schlagweite verschwundene Elektricitätsmenge
bei den Kugeln	0,846
- - Scheiben	0,849
bei dem unterbrochenen Schliefsungsdrath	0,842 der ganzen Ladung.

Diese Elektricitätsmenge hat bei den so verschiedenen Anordnungen des Schliefsungsbogens nahe dasselbe Verhältnifs zu der ganzen Ladung, und es kann daher als bewiesen genommen werden: wenn die hier gebrauchte Batterie mittels eines metallischen Schliefsungsbogens entladen wird, *so verschwinden nahe $\frac{11}{13}$ der ganzen Ladung, während die Kugeln in der Schlagweite auseinanderstehen.*

632 Bei der Entladung der Batterie durch die Apparate (§. 364. und §. 365.), wobei eine an dem Ende des Schliefsungsbogens befestigte Kugel einer mit dem Innern der Batterie verbundenen Kugel bis zur Berührung genähert wird, findet hiernach Folgendes statt: Wenn die bewegliche Kugel in eine Entfernung von der festen gekommen ist, die von der Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie abhängt, tritt eine Entladung ein, bei welcher $\frac{11}{13}$ der Elektricitätsmenge der Batterie verschwinden, es sei diese Entfernung d. Die bewegliche Kugel wird sich sodann der festen nähern ohne Entladung, die erst in der Entfernung $\frac{2}{13}d$ stattfinden kann, bei welcher $\frac{11}{13}\cdot\frac{2}{13}$ oder nahe $\frac{3}{23}$ der anfänglichen Ladung verschwinden. Die Kugel erhält dann in der Entfernung $\left(\frac{2}{13}\right)^2 d$ die Entladung von $\frac{11}{13}\cdot\left(\frac{2}{13}\right)^2$ oder ungefähr $\frac{15}{749}$ der anfänglichen Ladung und so fort. Die $n$te Entladung wird in der Entfernung $\left(\frac{2}{13}\right)^{n-1} d$ eintreten; dabei wird $\frac{11}{13}\left(\frac{2}{13}\right)^{n-1}$ der anfänglichen Elektricitätsmenge verschwinden, und daher $\left(\frac{2}{13}\right)^n$ in der Batterie zurückbleiben. Die bewegliche Kugel ist während der einzelnen Entladungen als ruhend angenommen, da die Ausgleichung der Elektricität bei der Entladung mit einer Geschwindigkeit geschieht, die unverhältnifsmäfsig grofs gegen die der entladen-

den Kugel ist, mag diese durch die Hand oder einen Mechanismus in Bewegung gesetzt sein. Bei den kleinen Werthen der Hauptschlagweite *d* werden selten mehr als 3 Entladungen beobachtet werden können. In den oben mitgetheilten Versuchen maſs die gröſste Schlagweite $1\frac{1}{2}$ Lin., so daſs, wenn die Kugeln des Funkenmikrometers einander fortwährend genähert werden, die Entladungen eintreten bei den Entfernungen 1,5 0,23 0,035 0,0055 einer pariser Linie, von welchen schon die dritte Entfernung nicht von der Berührung der Kugeln zu unterscheiden ist. Auch geschehen diese Entladungen mit abnehmenden und so geringen Elektricitätsmengen, daſs bei Versuchen über eine Wirkung der Batterieentladung keine Entladung nach der zweiten von merkbarem Einfluſs auf das Resultat sein kann. [632]

633 Bei dem gewöhnlichen Entladungsverfahren wird also der Schlieſsungsbogen ergriffen von mehreren gesonderten Entladungen, die in einer geraumen meſsbaren Zeit nach einander erfolgen, der Zeit nämlich, welche die Kugel gebraucht, um von einer Entfernung in die nächstfolgende zu gelangen. Aber auch jede einzelne Entladung geschieht nicht instantan; bei der ersten Entladung z. B. werden die $\frac{11}{13}$ der Ladung nicht in einem Akte, sondern successiv durch den Schlieſsungsbogen vernichtet, wenn auch der Zeitraum, in dem dies geschieht, in keinen Betracht gegen die Zeit kommt, welche die erste Entladung von der zweiten scheidet. Diese successive Vernichtung der Ladung wird aus dem Versuche geschlossen (§. 577.), daſs, wenn ein Theil des Schlieſsungsbogens durch die Entladung zerstört wird, in der Batterie ein viel gröſserer Rückstand bleibt, als bei unversehrtem Schlieſsungsbogen, — sie erhält einen schärferen Beleg in den folgenden Versuchen.

634 Wir haben gesehen (§. 627.), daſs bei Einschaltung einer Wassersäule in den Schlieſsungsbogen die Schlagweite für eine bestimmte Ladung ganz dieselbe ist, wie bei ganz metallischer Schlieſsung; ein Beweis, daſs die Entladung veranlaſst wird allein durch den elektrischen Zustand der beiden Metallkugeln, zwischen welchen der Funke übergeht. Würde nun aber bei dem ersten Auftreten des Funkens die ganze zur Entladung geeignete Elektricitätsmenge vernichtet, so müſste bei gleicher

[634] Schlagweite diese Menge bei der Schliefsung durch Metall und durch Wasser dieselbe sein, welches keineswegs der Fall ist. Die folgende Tafel gibt die anfängliche und spätere Ladung bei Einschaltung der oben beschriebenen Wassersäule in den Schliefsungsbogen.

Elektricitätsmenge für bestimmte Schlagweiten bei Einschaltung einer Wassersäule in den Schliefsungsbogen.

Flaschenzahl s	Schlagweite d	Ganze Ladung Elektr. Menge q	Hinzukommende Ladung q'
3	1	6	3,5
	2	10,5	7
	3	14,5	10,5
4	1	8	4,5
	2	14	9
	3	19,5	13,5
5	1	11	5
	2	19	11,7
	3	26	17
Schlagweite für Einheit der Ladung		$b = 0{,}55$	$b' = 0{,}88$

Hier sind von der ganzen Ladung $\frac{5}{8}$ in der Schlagweite verschwunden und $\frac{3}{8}$ in der Batterie zurückgeblieben. Zwischen denselben Kugeln entladen, hat die Batterie bei ganz metallischer Schliefsung in derselben Schlagweite $\frac{11}{13}$ ihrer Ladung verloren und $\frac{2}{13}$ zurückbehalten. Es ist daher der Rückstand in der Batterie durch Einwirkung der im Schliefsungsbogen befindlichen Wassersäule mehr als doppelt so grofs geworden; eine Einwirkung, die, den bisherigen Erfahrungen zufolge, erst *nach* dem Ausbruche der Entladung thätig gewesen ist. Es folgt hieraus:

Bei der Entladung der Batterie in der Schlagweite wird die Elektricität derselben successiv vernichtet.

635 Die Partialentladungen. Aus den bisher aufgeführten Versuchen über die Schlagweite folgt aber ferner, dafs die successive Vernichtung der Elektricität in der Schlagweite nicht stetig, sondern in einzelnen von einander getrennten Stöfsen von Statten geht. Die Gröfse der Schlagweite hängt nämlich, wie wir gesehen haben, von der Dichtigkeit auf dem mit dem

Innern der Batterie verbundenen Leiter ab, nicht von der Elektricitätsmenge der Batterie. Trennen wir den Leiter von der Batterie, so besitzt er dieselbe Schlagweite, die er in Verbindung mit der Batterie besafs. Die Entladung betrifft also nur den mit der Batterie verbundenen und von ihr elektrisirten Leiter, und geschieht momentan, wie die sie begleitende Lichterscheinung, der Funke, schliefsen läfst. Ist der Leiter nach dem Ausbruche des Funkens unelektrisch geworden, so wird er aufs Neue von der Batterie geladen, dann durch einen zweiten Funken nach dem Schliefsungsbogen hin entladen werden und so fort, bis die ganze Elektricitätsmenge der Batterie erschöpft ist, die bei der Entladung in der Schlagweite verschwindet. Wir haben daher die ganze Entladung der Batterie vermittelt zu denken durch wiederholtes Laden und Entladen des Leiters, an dem der Funke erscheint. Ist der Leiter entladen worden, so kann seine Ladung erst dann eintreten, wenn die Elektricitätsmenge auf der inneren Belegung der Batterie das anfängliche Verhältnifs zu der Menge der äufseren Belegung besitzt, d. h. der Ladungszustand der Batterie wiederhergestellt worden ist. Eine folgende Entladung des Leiters wird demnach an die Bedingungen geknüpft sein, dafs der durch die vorhergehende Entladung elektrisirte Schliefsungsbogen unelektrisch, und der gestörte Ladungszustand der Batterie wiederhergestellt sei. Was uns bei der Batterieentladung als ein einfacher und längere Zeit andauernder (§. 401.) Funke erscheint, ist also eine Reihe vieler nach einander folgender Funken, und die Entladung der Batterie in der Schlagweite besteht aus einer grofsen Menge einzelner Partialentladungen, von welchen jede erst nach Vollendung der vorhergehenden eingetreten ist. Bestätigungen dieser Folgerung finden sich weiter unten. [635]

636 Die Vorstellung von Partialentladungen, die durch alle Wirkungen der Entladung unterstützt wird, stöfst auf eine Schwierigkeit, die sogleich beseitigt werden kann. Die einzelnen auf einander folgenden Funken, welche die Entladung in der Schlagweite ausmachen sollen, gehen nämlich bei gleicher Entfernung der entladenden Kugeln über, haben also dieselbe Schlagweite. Nun aber wird die mit der Batterie ver-

[636] bundene Kugel nach jeder Partialentladung offenbar eine geringere Elektricitätsmenge von der Batterie erhalten, als sie vor der Entladung besafs, und es scheint also eine fortwährende Näherung der Kugel des Schliefsungsbogens an die der Batterie nöthig zu sein, um nach §. 625 eine Entladung zu gestatten. Dies würde in der That geboten sein, wenn die Luft zwischen den entladenden Kugeln unverändert geblieben wäre. Aber diese Luft hat in der Zwischenzeit, welche die Partialentladungen trennt, eine wesentliche Aenderung erlitten; sie ist durch den Funken auseinandergerissen, verdünnt (§. 550.), auch mit leitenden, von den Kugeln abgerissenen Theilchen vermischt worden. In einem solchen Luftraume hat aber dieselbe Elektricitätsmenge auf der Kugel eine gröfsere Schlagweite als zuvor, und dieselbe Schlagweite wird daher jetzt für eine geringere Menge passen. Bei den Partialentladungen vermittelt also jeder Funke den Durchbruch des zunächst folgenden so lange, als die noch vorhandene Elektricitätsmenge im Stande ist, bei dem bestehenden Zustande des Luftraums überzugehen. Alsdann hört die Entladung auf, es tritt gewöhnliche Luft in den Zwischenraum der Kugeln, und diese müssen einander um ein grofses Stück genähert werden, um eine neue Entladung möglich zu machen. So mufste oben (§. 632.) bei ganz metallischem Schliefsungsbogen die Entfernung der Kugeln von 1,5 bis 0,23 Linie verringert werden, und als der Bogen durch eine Wassersäule unterbrochen war, von 1,5 bis 0,56 Linie.

637 So genügend auch die Schlufsfolge ist, nach welcher jeder Funke den Durchbruch eines ihm schnell folgenden Funkens erleichtert, so mag dafür auch eine experimentelle Bestätigung angeführt werden. Faraday[1]) stellte zwei leydener Flaschen auf ein Stanniolblatt, und liefs von ihren Knöpfen zwei gegen einander geneigte Metallstäbe *an* und *bo* ausgehen (Fig. 121.), deren Enden einer isolirten Kugel *c* nahe standen, die mit einer andern Kugel *d* metallisch zusammenhing. Wurde eine dritte Kugel *e*, die durch einen Drath mit dem Stanniolblatt verbunden war, der Kugel *d* genähert, so wurden beide Fla-

[1]) *Exper. research.* alin.* 1417.

schen entladen, indem Funken von n und o nach c übergin- [637]
gen. Als aber der Luftraum zwischen on die Hälfte von dem zwischen nc oder oc betrug, ging gleichzeitig ein Funke von n nach c und von o nach n. Man sieht hierbei, daſs durch eine Zufälligkeit in der Stellung der Metallkörper die Flasche des Stabes na sich zuerst entlud, und darauf die Flasche ob zur Entladung den um die Hälfte längern Luftraum onc dem Luftraum oc vorzog, weil in dem erstern durch das Stück cn eine Entladung vorangegangen war. Selbst für den voltaischen Entladungsstrom ist der obige Satz aufgezeigt worden. Als Daniell in dem Schlieſsungsbogen einer voltaischen Batterie eine kleine Lücke angebracht hatte, ging der Strom nicht über, was sogleich geschah, nachdem der Entladungsfunke einer leydener Flasche den Zwischenraum durchbrochen hatte [1]).

638 Bei jeder Partialentladung verliert nicht nur die innere Belegung der Batterie einen Theil ihrer Elektricität (§. 635.), sondern Dasselbe findet auch auf der äuſsern Belegung statt. Der Ladungszustand der Batterie besteht nämlich in dem bestimmten Verhältniſs 1 zu m, das die Elektricitätsmenge der innern zu der der äuſsern Belegung besitzt. Bei jeder Partialentladung wird dies Verhältniſs gestört und muſs wiederhergestellt werden, ehe eine folgende Entladung eintreten kann (§. 635.). Ist die Menge der innern Belegung von 1 auf $1-p$ gesunken, so muſs zur Bewahrung des angegebenen Verhältnisses die andere von $-m$ auf $-m(1-p)$ sinken, das heiſst, es muſs die Menge $-mp$ von der äuſsern Belegung fortgehen. Jede Partialentladung besteht also in der Fortschaffung der beiden Elektricitätsportionen p und $-mp$ aus der Batterie, nach deren Vereinigung im Schlieſsungsbogen die Menge $p(1-m)$ auf dem Bogen übrig bleibt, die nothwendig positiv, also mit der Elektricität der innern Belegung gleichartig ist. Jede Partialentladung und ebenso die Gesammtentladung hat also die Folge, daſs der Schlieſsungsbogen mit der Elektricitätsart elektrisirt zurückbleibt, die im Innern der Batterie angehäuft war. Ist der Schlieſsungsbogen nicht isolirt, so verschwindet diese Elektricität zwar augen-

[1]) *De la Rive Archives de l'électr.* 1841. 498.

[638] blicklich, aber nicht ohne vorher eine Wirkung ausgeübt zu haben, die ich später (§. 804.) anführen werde.

639 Die Zahl der Partialentladungen, die zusammen eine Gesammtentladung bilden, hängt davon ab, wie oft der mit dem Innern der Batterie verbundene Leiter unelektrisch wird. Die Entladung dieses Leiters tritt bei einer bestimmten Dichtigkeit des Leiters ein, also nachdem der Leiter eine bestimmte Elektricitätsmenge von der Batterie erhalten hat. Es ist gezeigt worden, daſs die Elektricitätsmenge der Batterie beliebig variiren kann, ohne daſs ihre Schlagweite geändert wird, indem man nämlich Elektricitätsmenge und Flaschenzahl in gleichem Verhältnisse ändert. Der Leiter erhält hiernach eine Elektricitätsmenge, die bei constanter Dichtigkeit in der Batterie unabhängig von der Elektricitätsmenge in der Batterie bleibt. Da nun als Rückstand der Elektricität der Batterie stets derselbe Theil der Gesammtmenge gefunden worden ist, so muſs der Leiter um so öfter entladen worden sein, je gröſser die Elektricitätsmenge war. Die Zahl der Partialentladungen steht im geraden Verhältnisse zur Elektricitätsmenge der Batterie.

640 Schwieriger ist der Einfluſs der elektrischen Dichtigkeit in der Batterie auf die Zahl der Partialentladungen von vornherein festzustellen. Da bei gröſserer Dichtigkeit die Schlagweite gröſser ist, also der mit dem Innern der Batterie verbundene Leiter eine gröſsere Elektricitätsmenge erhalten muſs, um entladen zu werden, so folgt, daſs entweder die Zahl der Partialentladungen oder der Rückstand in der Batterie mit vergröſserter Dichtigkeit kleiner wird. In der That scheint das Letztere der Fall zu sein, doch war in den oben mitgetheilten Versuchen der Unterschied der Rückstände bei verschiedener Dichtigkeit so klein, daſs wir davon absehen konnten. Es muſs daher ein Grund vorhanden sein, die Elektricitätsmenge, welche der Leiter zu den der ersten Partialentladung folgenden Entladungen erhalten hat, zu verringern. Dieser Grund kann mit Wahrscheinlichkeit in der Gröſse der Veränderung der Luft zwischen den entladenden Kugeln gefunden werden, die von der elektrischen Dichtigkeit abhängt. Wenn bei der elektrischen Dichtigkeit 1 die Luft so verän-

dert wird, daſs die Elektricitätsmengen, welche der mit der [640] Batterie verbundene Leiter bei zwei einander folgenden Entladungen besitzt, sich wie 1 zu $\frac{1}{n}$ verhalten, so soll bei der Dichtigkeit 2 diese Abnahme in einem gröſseren Verhältnisse erfolgen. Dann wird es geschehen, daſs bei gröſserer anfänglicher Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie dieselbe Zahl von Partialentladungen ausgeführt wird, und dennoch der Rückstand in der Batterie nur wenig kleiner ausfällt, als zuvor.

641 Die Möglichkeit einer Partialentladung beruht, wie wir gesehen haben, auf der Veränderung des Luftraums zwischen den entladenden Kugeln, die durch die unmittelbar vorhergehende Partialentladung hervorgebracht ist. Nun aber kehrt die Luft allmälig in ihren natürlichen Zustand zurück, und jede Partialentladung muſs die Luft desto entfernter von diesem Zustande finden, je schneller sie der vorhergehenden Entladung folgt. Jede Partialentladung ist schwächer als die vorangehende, vermag den Luftraum weniger zu verändern, als diese, und es tritt zuletzt ein Zustand der Luft ein, bei welchem die vorhandene elektrische Dichtigkeit nicht mehr hinreicht, die Luft zu durchbrechen, so daſs die Partialentladungen aufhören. Bei einer gröſsern Zwischenzeit zwischen den einzelnen Entladungen muſs die Luft nach einer bestimmten Zahl von Partialentladungen denselben Zustand besitzen, den sie bei kleinerer Zwischenzeit erst nach einer gröſsern Anzahl besitzt, und danach die Gesammtentladung je nach der Zwischenzeit mit einer verschiedenen Anzahl von Partialentladungen geschlossen werden. Diese Zwischenzeit aber, oder die Dauer der Partialentladungen, hängt ab von der Beschaffenheit des Schlieſsungsbogens, die in dem Verzögerungswerthe ihren Ausdruck findet, und von der Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie. Es folgt hieraus, daſs die Zahl der Partialentladungen mit der Dichtigkeit sich in demselben und mit dem Verzögerungswerthe in entgegengesetztem Sinne verändert. Die Erfahrung hat aber gezeigt, daſs dies erst geschieht, wenn durch Dichtigkeit oder Verzögerungswerth die Dauer der Partialentladungen über einen bestimmten Werth hinaus verlängert worden ist. Es ist oben kein Unterschied in dem Rück-

[641] stande der Batterie bemerkt worden, als 4 Lin. oder 5017 Fuſs desselben Drathes in den Schlieſsungsbogen eingeschaltet waren, obgleich dadurch die Dauer einer Partialentladung im Verhältnisse 1 zu 180612 verlängert wurde (§. 629.). Bei Einschaltung einer Wassersäule hingegen, welche die Dauer der Partialentladung auf einen noch bedeutend höhern Werth brachte, wurde der Rückstand doppelt so groſs als früher gefunden, woraus zu schlieſsen ist, daſs die Zahl der Partialentladungen geringer geworden ist.

642 Schlagweite nach Beschaffenheit des luftförmigen Mediums. Es ist bisher aus indirecten Versuchen geschlossen worden, daſs die Schlagweite mit der Beschaffenheit der Luft variirt. Die darüber direct angestellten Versuche haben dies bestätigt, indem bei verschiedener Dichtigkeit oder Natur der Luft die Entladung eine Strecke von verschiedener Länge übersprang.

Dichtigkeit der Luft. Snow Harris [1]) brachte die beiden Kugeln, zwischen welchen die Entladung einer leydener Flasche stattfinden sollte, in die Glasglocke einer Luftpumpe, und setzte die eine Kugel durch einen Drath mit der äuſsern Belegung der Flasche in Verbindung, die andere mit einem um ein Gelenk drehbaren Metallstabe, dessen Ende auf eine von einem dünnen Glase bedeckte, mit dem Innern der Flasche verbundene Kugel aufschlug. War das Glas durch den herabgefallenen Metallstab zertrümmert, so fand die Entladung durch den Luftraum zwischen den Kugeln in der Glocke statt. Es wurde die Entfernung der Kugeln in der mit Luft gefüllten Glocke so regulirt, daſs eine bestimmte Elektricitätsmenge, und keine kleinere, aus der Flasche sich zwischen ihnen entlud, — die Luft alsdann verdünnt und die gröſste Entfernung der Kugeln gesucht, die eine Entladung herbeiführte. Die Schlagweiten wurden im umgekehrten Verhältnisse zur Dichtigkeit der Luft gefunden. In Luft von der halben Dichtigkeit hatte dieselbe Elektricitätsmenge, aus derselben Flasche entladen, eine doppelte Schlagweite. Hieraus folgt, daſs Elektricität von der Dichtigkeit 1 in Luft von der Dichtigkeit 1

---

[1]) *Philos. transact.* 1834* 225 fll.

dieselbe Schlagweite hat, wie Elektricität von der Dichtigkeit $\frac{1}{2}$ [642] in Luft von der Dichtigkeit $\frac{1}{2}$. — Um die Luft durch Erwärmung zu verdünnen, ersetzte Harris die Glocke durch eine hohle verschliefsbare Glaskugel, in der sich die beiden Metallkugeln in bestimmter Entfernung befanden und ein Thermometer angebracht war. Ueber die Kugel wurde ein Blechmantel gesetzt mit einer seitlichen trichterförmigen Erweiterung, unter die eine Spirituslampe zur Erwärmung der Kugel gestellt war. Es wurde, als die Temperatur der Luft 10° C. betrug, die kleinste Elektricitätsmenge in der leydener Flasche gemessen, die noch zwischen den Kugeln überging; als die Luft in der verschlossenen Kugel bis 148° erwärmt war, geschah die Entladung mit derselben Menge und mit keiner kleineren. War hingegen die Kugel offen geblieben, so war zur Entladung eine bedeutend kleinere Elektricitätsmenge genügend, und dieselbe kleinere Menge entlud sich bei der Temperatur 10°, als die Kugel gleich nach der Erwärmung verschlossen und dann bis 10° abgekühlt worden war. Dieser Versuch zeigt, wie der frühere mit der Luftpumpe, dafs die Schlagweite einer Elektricitätmenge von bestimmter elektrischer Dichtigkeit in dünner Luft gröfser ist, als in dichter, lehrt aber zugleich, dafs die Schlagweite nicht durch den Druck der Luft bestimmt wird, sondern durch deren Dichte, das heifst durch die Anzahl von Lufttheilchen in einem bestimmten Raume. In der verschlossenen Kugel mufste nämlich die heifse Luftmasse einen $1\frac{1}{2}$mal so grofsen Druck äufsern, als die kalte, und dennoch war die Schlagweite in beiden Fällen gleich. In der offenen Kugel übte heifse wie kalte Luft gleichen Druck aus, die nach dem Verschlusse der Kugel erkaltete Luft aber einen kleineren, und es zeigte sich auch hierbei, dafs die Schlagweite unabhängig von diesem Drucke blieb.

Auch bei Gasen ist die Abhängigkeit der Schlagweite von der Dichtigkeit, und ihre Unabhängigkeit von dem Drucke des Mediums aufgezeigt worden. Döbereiner[1]) comprimirte verschiedene Gase in einer Glasröhre und fand darin die Schlagweite des elektrischen Funkens desto kleiner, je dichter das

[1]) Schweigger Journ.* 62. 89.

[642] Gas war. Schafhäutl[1]) mafs die Schlagweite in einer Glasröhre, die mit Luft und dann mit Wassergas gefüllt war, das bis 228° C. erhitzt worden. Das Wassergas zeigte sich, wie jedes andere trockene Gas, als Nichtleiter, die Schlagweite einer bestimmten Elektricitätsmenge war aber in demselben gröfser als in Luft, obgleich das Gas einen 27mal so grofsen Druck ausübte, als die Luft.

643 In der Formel für die Schlagweite $d = c\frac{q}{s} = cy$ ist also c von der Dichtigkeit des Mediums abhängig, das der Funke durchbricht, und nimmt mit zunehmender Dichtigkeit ab. Nach Harris' Angabe (§. 642.) würde man haben $d = \frac{c}{b}y$, wo b die Dichtigkeit der Luft bezeichnet, die bei constanter Temperatur durch den Barometerstand gemessen wird. Läfst man die Schlagweite d constant, so mufs hiernach auch der Quotient $\frac{y}{b}$ constant bleiben. Knochenhauer[2]) hat hierüber eine Reihe von Versuchen angestellt. Zwei einander genäherte Kugeln waren an Dräthen in eine 8 Zoll hohe, 5 Zoll weite Glasflasche geführt, in der die Luft durch eine Pumpe verdünnt werden konnte. Die eine Kugel war direct mit der innern, die andere mit der äufsern Belegung einer Batterie verbunden, deren Entladung erfolgte, wenn eine hinlängliche Elektricitätsmenge in die Batterie gebracht war. Diese Menge wurde durch eine Maafsflasche gemessen und gab, da die Oberfläche der Batterie unverändert blieb, die elektrische Dichtigkeit an, mit der die constante Schlagweite erreicht wurde. In der folgenden Tafel ist die Höhe der Quecksilbersäule angegeben, durch die, da die Temperatur nicht geändert wurde, die Dichte der Luft in der Flasche gemessen wird. Die elektrischen Dichtigkeiten sind Mittel aus 5 Beobachtungen.

---

[1]) *Lond. Edinb. philosoph. magaz.** 3 *ser.* 18. 14.
[2]) Poggend. Ann.* 58. 219.

[643]

Dichtigkeit der Luft b	Dichtigkeit der beobachtet y	Elektricität berechnet
27,4 Zoll	41,9	41,9
24,4	37,8	37,7
21,4	33,5	33,5
18,4	29,1	29,3
15,4	25,1	25,0
12,4	20,8	20,8
9,4	16,6	16,6
6,4	12,2	12,4
3,4	8,1	8,2

Bei constanter Schlagweite sind Dichtigkeit der Elektricität und der Luft nahe proportional, wie die Berechnung zeigt, die nach dem Ausdruck $y = 1{,}406\,(b + 2{,}41)$ geführt ist. Zu demselben Resultate haben die Versuche von Masson[1]) geführt, die auf eine weniger directe Weise angestellt sind. Es folgt daraus, wie die am Anfange des Paragraphes angeführte Formel zeigt, daſs die Schlagweite einer mit constanter Elektricität geladenen Batterie im umgekehrten Verhältnisse zu der Dichtigkeit der Luft steht, die der Entladungsfunke durchbricht.

644 Einfluſs der Luftart auf die Schlagweite. Wenn zwischen den Kugeln, die eine Batterie entladen, statt der Luft sich ein Gas befindet, so wird voraussichtlich die Schlagweite nach der Natur des Gases verschieden sein. Es sind hierüber keine entscheidenden Versuche vorhanden, so daſs ich nur die Versuche beibringen kann, die an einem einfachen elektrisirten Conductor angestellt worden sind. Faraday[2]) verschloſs ein Glasgefäſs a (Fig. 122.) durch einen Metallboden g, der in eine Röhre mit Hahn f fortsetzte, und durch den Deckel b, durch den ein Drath in einer Stopfbüchse hindurchging. An diesem Drathe befand sich im Gefäſse eine Metallkugel s von 0,93 Zoll Durchmesser, der eine Kugel l von 2,02 Zoll Durchmesser gegenüberstand in der Entfernung von 0,62 Zoll. Neben diesem Apparate waren zwei Metallkugeln L und S (0,96 und 1,95 Zoll Durchmesser) auf Glasfüſsen isolirt, und an den verschiebbaren Dräthen m und k

[1]) *Annales de chim. 3ème sér.** 30. 41.
[2]) *Exper. research.** *al.* 1381 *fl.*

[644] befestigt. Die Kugeln *s* und *S* wurden durch Dräthe mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine verbunden, die Kugeln *l* und *L* mit einer Ableitungskette. Wurde daher der Conductor *w* geladen, so hatte der Funke zwei Wege, um zur Ableitung überzuspringen, entweder durch den festen Zwischenraum *v* im Glasgefäfs, oder durch den veränderlichen *u* in der Luft. Nachdem das Glasgefäfs exantlirt und mit einem Gase gefüllt war, wurden die freistehenden Kugeln *L* und *S* so weit von einander entfernt, dafs die Funken nur im Gefäfse übersprangen. Die freistehenden Kugeln wurden alsdann allmälig einander genähert; die letzte Entfernung derselben, bei welcher noch alle Funken im Gefäfse übersprangen, ist auf der folgenden Tafel unter „gröfste Entfernung" angegeben. Bei gröfserer Nähe der Kugeln gingen die Funken theils im Gefäfse, theils in der Luft über, bis eine Entfernung erreicht wurde (die „kleinste Entfernung" der Tafel), bei welcher sie nur in der Luft übersprangen. Da die Elektricitätsmengen, welche in der Luft zwischen den Kugeln übergehen, proportional den Entfernungen dieser Kugeln sind, so kann aus jenen beiden Entfernungen die Elektricitätsmenge beurtheilt werden, welche nöthig ist, den constanten Zwischenraum im Gase zu überspringen. Die „gröfste Entfernung" giebt eine Menge an, die gröfser, die „kleinste" eine, die kleiner ist als die gesuchte, das Mittel beider wird diese Menge daher im Allgemeinen beurtheilen lassen. Der bedeutende Unterschied beider Entfernungen in den Versuchen ist der Unvollkommenheit der Methode zuzuschreiben. Die angewandten Gase sind gut ausgetrocknet gewesen, die Entfernungen sind in par. Zollen angegeben.

Gas im Gefäfse	kleinste Entfernung	gröfste Entfernung	Mittel
Chlorwasserstoffgas	0,89	1,32	1,105
Oelbildendes Gas	0,64	0,86	0,750
Luft	0,60	0,79	0,695
Kohlensäure	0,56	0,72	0,640
Stickstoff	0,55	0,68	0,615
Sauerstoff	0,41	0,60	0,505
Steinkohlengas	0,37	0,61	0,490
Wasserstoff	0,30	0,44	0,370

645 Die letzte Spalte der Tafel giebt die ungefähren Verhältnisse der Elektricitätsmengen an, welche nöthig sind, um zwischen zwei festen Leitern, je nach dem den Zwischenraum ausfüllenden Gase, eine Entladung zu bewirken; die Schlagweite einer und derselben Elektricitätsmenge wird daher das umgekehrte Verhältnifs haben. Ein mit bestimmter Elektricitätsmenge geladener Conductor wird z. B. die gröfste Schlagweite haben (die längsten Funken geben), wenn er von Wasserstoffgas, die kleinste, wenn er von ölbildendem oder Chlorwasserstoffgas umgeben ist. Die obigen Zahlen wurden bei Ladung des Conductors mit positiver Elektricität erhalten, bei negativer Ladung sind die folgenden gefunden worden.

Gas im Gefäfse	kleinste Entfernung	gröfste Entfernung	Mittel
Oelbildendes Gas	0,67	0,77	0,73
Chlorwasserstoff	0,67	0,75	0,72
Stickstoff	0,59	0,70	0,64
Luft	0,59	0,68	0,63
Kohlensäure	0,58	0,60	0,59
Steinkohlengas	0,47	0,58	0,52
Sauerstoff	0,50	0,52	0,51
Wasserstoff	0,25	0,30	0,27

Hier, wie in der ersten Tafel, sind die Gase nach abnehmender Elektricitätsmenge, die sie zur Durchbrechung verlangen, geordnet, und man sieht, dafs die Reihen für positive und negative Ladung des Conductors merklich übereinstimmen. Da alle Gase, gut ausgetrocknet, bei gleicher Temperatur und unter gleichem Drucke angewendet, sich nicht nach Verhältnifs ihrer Dichtigkeit gruppiren (wie z. B. Sauerstoff, obgleich schwerer als ölbildendes Gas, eine geringere Elektricitätsmenge zur Durchbrechung verlangt, als letzteres), so ist zu schliefsen, dafs aufser der Dichte des Gases noch ein ihm eigenthümliches Leitungsvermögen von Einflufs ist. Die Gase sind also, obgleich Nichtleiter (§. 372.), mit verschiedener Fähigkeit versehen, die Elektricität zu zerstreuen.

646 Das Residuum. Wenn die Batterie durch ganz metallische, aber nur einen Augenblick währende, Verbindung ihrer beiden Belegungen entladen wird, so zeigt sie nach kurzer Zeit eine Ladung mit einer schwachen Elektricitätsmenge, die

[646] das Residuum, der Rückstand, genannt wird. Ich habe den Grund dieser Erscheinung bereits früher (§. 375.) angegeben, nämlich das Eindringen der beiden auf den Belegungen angehäuften Elektricitätsmengen in das Glas, und das Zurücktreten dieser Mengen an die Belegungen nach der Entladung. Dieser Rückstand von Elektricität ist der Batterie nicht wesentlich eigen, da er durch den starren Zwischenkörper zwischen den Belegungen hervorgerufen wird, und fortfällt, wenn man Luft an die Stelle des Glases setzt. Ein wesentliches Residuum entspringt aber aus der Natur der Entladung (§. 638). Eine jede Entladung, sie mag vollständig sein, oder nur eine beschränkte Zahl von Partialentladungen umfassen, geschieht mit zwei ungleichen Elektricitätsmengen, mit der Menge 1, die von der inneren, und $-m$, die von der äufseren Belegung fortgeht. Die Summe dieser Menge, $1-m$, bleibt übrig und vertheilt sich nach den Gesetzen der Anordnung auf die metallischen Theile der Batterie und auf den Schliefsungsbogen, so dafs auch die innere Belegung einen Theil dieser Menge erhält. Dieser Theil bringt, wenn nach der Entladung die innere Belegung isolirt wird, eine neue Ladung der Batterie hervor, vermehrt also das unwesentliche Residuum. Je gröfser aber die Oberfläche der äufseren Belegung und des Schliefsungsbogens ist, desto geringer ist jener, der inneren Belegung zukommende, Theil von Elektricität, und man macht ihn unmerklich, wenn während der Entladung die äufsere Belegung eine vollkommene Ableitung zur Erde erhalten hat.

Zustand des Schliefsungsbogens während der Entladung.

Die continuirliche Entladung.

647 Während die Batterie durch die einzelnen Partialentladungen allmälig ihre Elektricität verliert, findet in dem Schliefsungsbogen ein sehr zusammengesetzter Vorgang statt. Vor jeder Partialentladung ist der Schliefsungsbogen unelektrisch, sein der Batterie nächstes Ende wird durch die Entladung plötzlich elektrisch, und diese Elektricität mufs den ganzen

Bogen durchlaufen, und der Ladungszustand der Batterie muſs [647] wiederhergestellt sein, ehe eine neue Entladung eintreten kann. Die Fortpflanzung der Elektricität geschieht, wie wir nach Analogie schlieſsen können, in folgender Weise. Wir wollen zuerst auf der Oberfläche des Schlieſsungsbogens eine Anzahl von Punkten betrachten, die in der kürzesten Linie liegen, welche von der einen Belegung der Batterie zur andern gezogen werden kann. Es sei einer dieser Punkte durch die Partialentladung elektrisch geworden, so wird seine Elektricität von dem ihn unmittelbar berührenden Punkte abgeleitet. Die elektrische Dichtigkeit des ersten Punktes wird abnehmen, während die des zweiten zunimmt, und dies so lange dauern, bis der zweite Punkt die Dichtigkeit des ersten erreicht hat, dann aber dasselbe Spiel zwischen dem zweiten und dritten Punkte eintreten, und so fort. Ein eigener elektrischer Zustand, der in einer Zunahme und dann in einer Abnahme der Dichtigkeit besteht, wird also jeden Punkt ergreifen, und in einer endlichen Zeit von einem bestimmten Punkte zu einem andern übergehen. Was an einem Punkte der Oberfläche des Schlieſsungsbogens geschieht, gilt gleichzeitig für den ganzen, durch ihn gelegten Querschnitt. Legt man durch die oben angenommene Linie auf der Oberfläche des Leiters normale Schnitte, so werden alle Punkte desselben Querschnittes gleichzeitig elektrisch und unelektrisch, die Entladung geht daher durch die Masse des Schlieſsungsbogens, indem sich ein bestimmter elektrischer Zustand von einem Querschnitte zum nächstfolgenden fortpflanzt. Diese Fortpflanzung geht von beiden Enden des Bogens (den Belegungen der Batterie) nach entgegengesetzten Richtungen, ihre Geschwindigkeit hängt muthmaſslich von der Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie und von dem Stoffe des Schlieſsungsbogens ab.

648 Die Dauer der Partialentladung im Schlieſsungsbogen wird hiernach offenbar durch den Stoff des Schlieſsungsbogens und durch seine Länge bestimmt, auſserdem aber auch durch seinen Querschnitt, wie die folgende Betrachtung zeigt. Ist der (cylindrisch gedachte) Bogen überall von gleicher Dicke, so können wir ihn durch eine Reihe gleich groſser Scheiben ersetzen, und diese werden von der Entladung so ergriffen, daſs,

[648] wenn eine Scheibe die elektrische Dichtigkeit der vorhergehenden erreicht hat, diese selbst unelektrisch geworden ist. Die Dauer der ganzen Entladung im Schliefsungsbogen wird daher durch die Zeit bestimmt, in welcher die vorhandenen Scheiben einmal elektrisch gemacht werden. Nun sei ein Stück des Bogens von geringerem Durchmesser, als der übrige Theil, bestehe also aus kleineren Scheiben. Von einer beliebigen Seite ausgehend, finden wir eine grofse Scheibe elektrisch, die von der sie berührenden kleinen Scheibe entladen wird. Hat die kleine Scheibe die elektrische Dichtigkeit der grofsen erlangt, so geht die Entladung in der Säule der kleinen Scheiben weiter, und zwar mit derselben Geschwindigkeit, die sie in der Reihe der grofsen Scheiben besafs. Aber hiermit kann die Dichtigkeit der grofsen Scheibe nicht auf Null gekommen sein, da die kleinere Scheibe eine geringere Elektricitätsmenge bedarf als die grofse, um mit ihr eine gleiche Dichtigkeit zu besitzen; es wird daher eine zweite Ladung der kleinen Scheibe eintreten und so fort, bis die grofse Scheibe alle Elektricität verloren hat. Es werden also hier, obgleich die Zahl der Scheiben dieselbe ist, wie bei dem überall gleich dicken Drath, diese Scheiben öfter elektrisch werden müssen, als dort, um die ganze vorhandene Elektricitätsmenge zu erschöpfen. Der Einflufs eines dünnen Drathes auf die Dauer der Partialentladung wird daher dieselbe sein, wie der eines längern; diese Dauer wird in beiden Fällen vergröfsert werden.

649 Nach dem Vorhergehenden läfst sich bestimmen, dafs die Dauer der einzelnen Partialentladungen zunehmen wird mit folgenden Gröfsen: Mit dem umgekehrten Werthe der Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie, weil die Elektricität durch einen gegebenen Schliefsungsbogen desto schneller geht, je dichter sie ist. Mit der Länge des Schliefsungsbogens, was von selbst klar ist. Mit der Verzögerungskraft der Materie des Bogens, da diese der Geschwindigkeit der Entladung umgekehrt proportional ist. Endlich mit dem umgekehrten Werthe des Querschnittes des Schliefsungsbogens. — Dieselben Bestimmungen gehen aus dem Ausdrucke für die ganze Entladungszeit hervor, der aus Versuchen über die Erwärmung im Schlie-

ſsungsbogen abgeleitet worden ist (§. 436.). Es ist nämlich [649] die Entladungszeit gesetzt worden $Z = (1 + b\,V)\,\frac{q}{y}$, wo V den Verzögerungswerth des veränderlichen Schlieſsungsbogens, q die Elektricitätsmenge in der Batterie und y deren Dichtigkeit bezeichnet. Diese Entladungszeit ist offenbar das Product der Dauer einer Partialentladung in die Anzahl der Entladungen. Die Anzahl der Entladungen ist aber in sehr weiter Gränze der Veränderung von V und y (welche Gränze in den Wärmeversuchen nie erreicht werden kann) proportional der Elektricitätsmenge q (§. 639.), und man hat daher für die Dauer einer Partialentladung den Ausdruck $\frac{(1+b\,V)}{y}$, der die obigen Angaben enthält. Begreiflich wird hiermit eine mittlere Dauer der Partialentladung ausgedrückt sein, da die Partialentladungen, wegen fortwährend abnehmender Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie, mit zunehmender Dauer einander folgen müssen.

650 Dicke und Materie des Schlieſsungsbogens bestimmen die Zeit, während welcher jeder Querschnitt des Bogens elektrisch ist. Offenbar wird ein Querschnitt desto länger elektrisch bleiben während jeder Partialentladung, je dünner der Schlieſsungsbogen ist und aus je schlechter leitendem Stoffe er besteht, indeſs seine Länge dabei ohne Einfluſs bleibt. Die Dauer einer Partialentladung, und dadurch die ganze Entladungszeit, kann demnach in zwiefacher Weise durch den Schlieſsungsbogen verlängert werden: einmal, indem eine gröſsere Anzahl von Querschnitten elektrisch gemacht wird, das andere Mal, indem dieselbe Zahl von Querschnitten eine längere Zeit hindurch elektrisch erhalten wird. Man kann leicht durch Wahl des Stoffes und der Dimensionen des Schlieſsungsbogens die Dauer der Partialentladung ungeändert lassen, und dabei die Zeit beträchtlich ändern, in der jeder Querschnitt elektrisch bleibt. Nach dem vorigen Paragraphe wird dies der Fall sein, wenn wir den Verzögerungswerth $V = \frac{l\,x}{r^2}$ constant setzen. Bei vielen Versuchen ist alsdann die gleichzeitige Aenderung von l, x oder r (Länge, Verzögerungskraft, Radius des Schlieſsungsbogens) völlig gleichgültig, da die meisten Wirkungen der

[650] Entladung nur von der Dauer der Partialentladung und der dadurch bestimmten Dauer der Gesammtentladung abhangen. Der Einfluſs der verschiedenen Zeit, welche jeder Querschnitt des Bogens elektrisch bleibt, ist bisher nur bei den Magnetisirungen von Stahlnadeln bemerkt worden, bei welchen sich bedeutende Verschiedenheit im Magnetismus der Nadeln gezeigt hat, je nach dem Stoffe und den Dimensionen der dazu gebrauchten gleichwerthigen Metalldräthe (§. 540).

651 Die Entladungszeit der Batterie wird durch den Querschnitt des Schlieſsungsbogens bestimmt, ohne daſs dessen Peripherie in Anschlag käme. Es hangen also die Wirkungen der Entladungen bei einem Schlieſsungsbogen von bestimmter Länge von der Masse, und nicht von der Oberfläche des Bogens ab. Man kann sich hiervon überzeugen, wenn man von zwei gleichen Dräthen den einen rund läſst, den andern platt walzen läſst. Setzt man jeden dieser Dräthe in einzelnen Versuchen zu einem Drathe hinzu, in dem man die durch die Entladung frei gewordene Wärme beobachtet, so findet man keinen Unterschied der Wärme, es mag der runde oder der platte Drathe gebraucht sein, obgleich der letztere eine viel gröſsere Oberfläche als der erste besitzt. Dies kann einen Augenblick auffallen, da nach der obigen Auseinandersetzung die Wirksamkeit eines zugesetzten Drathes darin besteht, den durch die Entladung elektrisch gemachten übrigen Theil des Schlieſsungsbogens unelektrisch zu machen, und früher bemerkt worden ist, daſs, wenn ein Leiter durch Mittheilung an einen andern Elektricität verliert, dieser Verlust von der Oberfläche des zugesetzten Leiters abhängt, nicht von dessen Masse (§. 123). Es findet indeſs der wesentliche Unterschied zwischen beiden Versuchen statt, daſs in dem zuletzt erwähnten Falle die Elektricität des ersten Leiters dadurch vermindert wird, daſs ein Theil davon auf dem zugesetzten Leiter zu einer festen Anordnung kommt, in dem Falle der Entladung aber durch augenblickliche Zerstörung dieser Elektricität. Wo Elektricität zu einer, wenn auch noch so kurze Zeit dauernden, festen Anordnung kommt, muſs Form und Oberfläche des Leiters allein die Menge der aufgenommenen Elektricität bestimmen. In der That kommt dieser Fall nebenbei auch bei der Entladung der

Batterie vor. Es ist nämlich oben gezeigt worden, dafs nicht [651] die ganze Elektricitätsmenge im Innern der Batterie durch den Schliefsungsbogen ausgeglichen wird, und ein kleiner Theil davon übrig bleibt. Dieser Rest ordnet sich auf der Oberfläche des Bogens an, und ich werde später zeigen, dafs die Folgen dieser Anordnung nach Form und Gröfse der Oberfläche verschieden sind (§. 795.).

652 Der bisher beschriebene muthmafsliche Vorgang bei der Entladung ist unter die Aufschrift: continuirliche Entladung gestellt, und ich werde diesen, als den normalen, überall voraussetzen, wo es nicht anders gesagt ist. Die Wirkungen dieser Art der Entladung bestehen in der Erwärmung, dem Magnetismus, der elektrodynamischen Bewegung, der Elektrolyse und einem Theile der physiologischen Erscheinungen. Es finden aber noch andere Wirkungen im Schliefsungsbogen statt, namentlich die mechanischen und die mit Lichtentwickelung verbundenen, welche unzweifelhaft auf eine gänzlich verschiedene Art der Entladung hinweisen.

Die discontinuirliche Entladung.

653 Bei der continuirlichen Entladung durch einen homogenen Schliefsungsbogen schreitet ein bestimmter elektrischer Zustand von einem Querschnitte zu dem unmittelbar angränzenden fort, so dafs in gleichen Zeiten gleichviel Querschnitte elektrisch werden. Man denke sich dies gleichmäfsige Fortschreiten an einem Querschnitte durch irgend eine Ursache gehemmt, und diesen Querschnitt zu einer höhern elektrischen Dichtigkeit gebracht, als er früher erlangte, so wird ein von ihm entfernter Querschnitt durch Influenz elektrisch werden, und in einem bestimmten Momente eine Ausgleichung der Elektricitäten dieser beiden Querschnitte eintreten. Das ganze, zwischen den beiden Querschnitten liegende, Stück des homogenen Drathes wird plötzlich von der Entladung ergriffen und durchbrochen werden, gerade so, als ob dieses Stück aus einem andern, schlechter leitenden Stoffe bestände. Hierdurch ist die Entladung im ganzen Schliefsungsbogen wesentlich verändert worden. So

[653] lange nämlich die Dichtigkeit jenes Querschnittes zunimmt, stockt die Entladung in dem übrigen Theile des Schliefsungsbogens, und schreitet erst nach dem Durchbruche der hemmenden Schichten weiter fort. Es werden also nicht mehr in gleichen Zeiten gleiche Strecken des Schliefsungsbogens elektrisch werden können. Ferner waren bei der continuirlichen Entladung alle Punkte eines Querschnittes gleichzeitig in demselben elektrischen Zustande, die Fortpflanzung dieses Zustandes geschah also in der Normalen des Querschnittes (Axe des Drathes). Der plötzliche Durchbruch der Elektricität kann ebensowol normal als schief gegen die Axe stattfinden. Diese stofsweise Fortpflanzung der Entladung soll als discontinuirliche Entladung bezeichnet werden. Um sich eine klare Vorstellung der beiden Entladungsarten zu bilden, stapele man eine Anzahl blanker Metallscheiben zu einer Säule auf, und presse sie durch eine Schraube fest zusammen. In den Schliefsungsbogen einer, wenn auch stark geladenen, Batterie eingeschaltet, wird diese Säule eine continuirliche Entladung gestatten, diese also sowol in der Masse der einzelnen Scheiben als an den Berührungsflächen von je zwei Scheiben stattfinden. Hebt man aber durch Lösung der Schraube die innige Verbindung der Scheiben auf, oder sind die Scheibenflächen oxydirt gewesen, so geschieht die Entladung durch die Säule discontinuirlich, wie sich an deutlichen Merkmalen nachweisen läfst. Die Hemmung der Entladung, die hier durch einen vom Schliefsungsbogen unterschiedenen Stoff (Oxyd, Luft) bewirkt wird, kann auch in einem durchaus homogenen Schliefsungsbogen stattfinden.

654 Die Dauer jeder Partialentladung, und damit die Dauer der ganzen Entladung der Batterie, wird durch die Vertauschung der continuirlichen mit der discontinuirlichen Entladungsweise in zwiefacher, und zwar entgegengesetzter Weise verändert. Der Querschnitt, an dem die Intermittenz eintritt, bleibt länger elektrisch, als er bei continuirlicher Entladung war, und damit wird die Entladungszeit verlängert; in dem Stücke hingegen des Schliefsungsbogens, das durchbrochen und momentan elektrisch wird, schreitet die Entladung schneller fort als früher, was eine Verkürzung der Entladungszeit zur

Folge hat. Ferner wird die Entladungszeit durch folgenden [654] Umstand verringert. Bei der continuirlichen Entladung geht die Elektricität durch einen homogenen Schliefsungsdrath mit der Geschwindigkeit, die der elektrischen Dichtigkeit am Ende des Drathes zukommt, welche direct von der Dichtigkeit in der Batterie abhängt. Bei der discontinuirlichen Entladung wird die Dichtigkeit, und damit die Geschwindigkeit der weiteren Fortpflanzung, an der Intermittenzstelle vermehrt. So haben wir früher erfahren (§. 439.), dafs die Einschaltung einer dickeren Luftschicht in den Schliefsungsbogen in gewissen Gränzen eine kürzere Entladungszeit zur Folge hat, als die einer dünneren, weil eine gröfsere Condensation der Elektricität an der die Luft begränzenden Platte eintrat. Wenn in einem Theile des Bogens statt der continuirlichen die discontinuirliche Entladung eintritt, so wird, je nach der Beschaffenheit des Bogens, eine Verkürzung oder Verlängerung der ganzen Entladungszeit stattfinden. Ist der betreffende Theil starr, so wird stets eine Verlängerung, ist er flüssig oder luftförmig, eine Verkürzung dieser Zeit eintreten müssen.

655 Beide Arten der elektrischen Fortpflanzung, welche die continuirliche und discontinuirliche Entladung begründen, können in jedem gleichartigen oder ungleichartigen Schliefsungsbogen stattfinden, wie auch dessen Stoff und Dimensionen beschaffen sein mögen. Die Entladungsart wird allein durch die Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie bestimmt, dergestalt, dafs die Entladung in jedem gegebenen Bogen so lange continuirlich bleibt, als die Dichtigkeit noch nicht eine bestimmte Gröfse erreicht hat. In Betreff der Bezeichnung ist hier jedoch Folgendes zu merken. In den sehr unvollkommenen Leitern (Isolatoren) findet die continuirliche Fortpflanzung so äufserst langsam statt, dafs sie sich durch keine Aenderung im Zustande des Schliefsungsbogens bemerklich machen läfst, und nur aus dem Zustande des elektrischen Körpers oder der Batterie geschlossen wird. Man pflegt in diesem Falle die Bezeichnung: Entladung zu vermeiden, und eine andere, wie Elektricitätsverlust, Zerstreuung zu gebrauchen. In diesem Sinne ist an einer früheren Stelle (§. 549.) gesagt worden, dafs bei einem aus isolirendem Stoffe bestehenden Schlie-

[655] ſsungsbogen entweder keine Entladung, oder eine von mechanischen Wirkungen begleitete (discontinuirliche) stattfindet.

656 Die Wirkungen, welche die discontinuirliche Entladungsart im Schlieſsungsbogen hervorbringt, sind aus den Versuchen zu entnehmen, in welchen diese Entladung künstlich herbeigeführt wurde. Priestley[1]) schickte eine starke Batterieentladung durch eine schlaff auf Papier gelegte Gliederkette, die aus dickem Messingdrathe bestand. Es wurden zwischen allen Gliedern der Kette glänzende Funken bemerkt, ein schwarzer Staub wurde von der Kette abgerissen, der theils in die Höhe stieg, theils das Papier befleckte. Als die Kette durch ein schweres Gewicht straff ausgespannt war, fand diese Befleckung nur in geringem Maaſse statt. Die Kette wurde lose in winkligen Zügen auf das Papier gelegt, die Entladung verzerrte diese Züge, indem sie die Theile der Kette gegen einander verschob. Eine Reihe neben einander gelegter Metallkörner wurde durch die Entladung zerrissen, die Körner wurden zerstreut und oberflächlich geschmelzt. Zwanzig platte Schillinge wurden auf einander gelegt und mit einem Gewichte von $7\frac{1}{2}$ Pfund beschwert; eine starke Batterieentladung, die durch die Säule ging, lieſs die einzelnen Münzen unverändert, machte sie wahrscheinlich nicht merklich warm. Als das Gewicht entfernt und dadurch die Berührung der Münzen vermindert war, erlitt jede Münze an ihren beiden Flächen merkliche Schmelzungen. Henry[2]) klebte auf eine Glasplatte einen Stanniolstreifen, der durch die Entladung einer Batterie keine sichtbare Aenderung erhalten haben würde; als er denselben aber an mehreren Stellen durchschnitt, und die Enden jedes Stückes lüftete, wurden diese Enden durch die Entladung in die Höhe und zurückgebogen, so daſs sie die Gestalt von liegenden *c* (◡) erhielten. Bei der Einschaltung von schlechten Leitern, Kartenblättern, Glas und Glimmerplatten in den Schlieſsungsbogen haben wir gesehen (§. 553.), daſs diese durch die Entladung durchbrochen und theilweise zertrümmert wurden. Aus allen diesen Beispielen ergiebt sich, daſs die discontinuirliche

[1]) Geschichte der Elektric. v. Krünitz* 440 flgd. 483.
[2]) Poggend. Ergänzungsband 1842* 309.

Entladung mit Lichterscheinung und den Wirkungen verbunden ist, die unter dem Namen der mechanischen in einem früheren Kapitel beschrieben worden sind. Ich werde nun die Wirkungen dieser Entladung, die in einem festen, flüssigen oder luftförmigen Stoffe hervorgebracht werden, näher betrachten. [656]

657 Discontinuirliche Entladung in festen Körpern. Besteht der Schliefsungsbogen einer Batterie aus einem festen Stoffe, der zu den besseren Leitern gehört, wie die Metalle, so wird er durch die discontinuirliche Entladung erschüttert; es werden Theile von seiner Oberfläche losgerissen, er erhält Einbiegungen, geräth ins Glühen, Schmelzen oder wird zerstäubt — kurz erfährt alle Wirkungen, die §. 557 und in den folgenden Paragraphen beschrieben worden sind. Bei einem Drathe derselben Art werden diese Wirkungen durch Steigerung der elektrischen Dichtigkeit in der Batterie hervorgebracht. Es ist gezeigt worden, dafs bei diesen Wirkungen sich die eigenthümliche Entladungsart durch Zunahme des Verzögerungswerthes des Schliefsungsbogens merklich macht, dafs diese Zunahme aber gewisse, mit den Wirkungen zusammenhangende Perioden beobachtet, innerhalb welcher sich der Werth nur wenig ändert. So trat die erste bedeutende Zunahme ein, als der Drath erschüttert wurde, die andere bei den winkligen Verbiegungen des Drathes, und als der Drath zuletzt schmolz, nahm der Verzögerungswerth wieder ab. Wenn die Continuität des Drathes durch die Entladung nicht gelöst wird, wie bei der Verbiegung und dem Glühen, findet man bei Wiederholung eines Versuches für den Schliefsungsdrath nahe denselben Verzögerungswerth, was, wie die Abhängigkeit des Glühens von der Dicke der Dräthe, beweist, dafs die Entladung alle Punkte eines Querschnittes des Drathes gleichzeitig ergreift, also in der Axe des Drathes fortschreitet. Bei den gesteigerten Wirkungen ist dies nicht der Fall, indem dabei der Weg der Fortpflanzung schief gegen die Axe stehen kann, wie die Zerreifsung der Dräthe in der Richtung der Axe deutlich zu erkennen giebt. — Die Stellen des Drathes, an welchen die Fortschreitung der Entladung gehemmt wird, welche die discontinuirliche Entladung veranlassen und muthmafslich

[657] durch die Einbiegungen angezeigt werden, scheinen gleichgültig zu sein, und durch eine geringfügige Verschiedenheit im Gefüge des Drathes bestimmt zu werden. Wendet man zu den Glühversuchen einen Drath an, der an einer Stelle einen Druck erlitten hat, so tritt, trotz der sorgfältigsten Glättung, die erste Verbiegung an dieser Stelle ein. Der Druck mit dem Fingernagel genügt zu diesem Versuche. Die Aenderung der continuirlichen Entladung in die discontinuirliche geschieht bei den guten Leitern bei einer desto größeren elektrischen Dichtigkeit, je größer der Querschnitt und je besser leitend der Stoff des Leiters ist. Es ist z. B. früher gezeigt worden, daß ein Drath zur Verbiegung eine desto stärkere Dichtigkeit verlangt, je dicker und je besser leitend er ist.

658 Die festen unvollkommenen Leiter (Halb-, Nichtleiter) werden durch die discontinuirliche Entladung zersprengt und durchbohrt, oft auch theilweise geschmelzt; wie es bei den guten Leitern geschieht. Doch findet hier ein bemerkenswerther Unterschied statt. Bei den guten Leitern geht die continuirliche Entladung, wie die discontinuirliche, durch die Masse, ohne daß die Oberfläche des Leiters einen Einfluß ausübt. Die unvollkommenen Leiter hingegen leiten durch atmosphärischen Einfluß an ihrer Oberfläche die Elektricität oft viel besser, als in ihrer Masse, und die Entladungen finden theils auf der Oberfläche, theils in der Masse selbst statt. Um eine Durchbohrung des unvollkommenen Leiters zu bewirken, muß eine genügend starke Entladung allein durch die Masse geführt werden, und hierzu muß die Dichtigkeit in der Batterie desto größer sein, je schlechter leitend die Masse des Leiters ist, weil die oberflächliche Leitung bei den verschiedenen Isolatoren nicht sehr verschieden ist. Wir bedürfen demnach zur discontinuirlichen Entladung durch die Masse eines Isolators eine desto stärkere Dichtigkeit, je weniger gut er leitet, statt daß bei den guten Leitern das entgegengesetzte Verhalten stattfand. Um ein Beispiel zu geben: ein Glimmerblatt wird erst durch Elektricität größerer Dichtigkeit durchbohrt, als eine gleich dicke Glastafel, von welchen ersteres in seiner Masse schlechter leitet als letztere; hingegen wird ein Platindrath durch eine kleinere Dichtigkeit zerstört, als ein Kupferdrath, obgleich

ersterer gleichfalls schlechter leitet als letzterer. Wo die Wirkung der Oberfläche fortfällt, wie bei den flüssigen Nichtleitern, findet auch bei diesen dasselbe Gesetz statt, das für die guten Leiter gilt: die schlechter leitende Flüssigkeit wird von dem Funken leichter durchbrochen, als die besser leitende. Dafs bei den festen Isolatoren auch die Festigkeit des Gefüges die elektrische Dichtigkeit bestimmt, die zu ihrer Durchbohrung verlangt wird, ist für sich klar. — Bei den guten Leitern sahen wir mit dem Eintritte der discontinuirlichen Entladung den Verzögerungswerth zunehmen, bei ihrer Zerstörung abnehmen (§. 583.). Bei den unvollkommenen Leitern ist der Verzögerungswerth so grofs, dafs er vor ihrer Zerstörung nicht bestimmt werden kann, bei dieser ist er aber um so gröfser, je dichter die Masse des Leiters, und je ausgedehnter die zerstörte Stelle ist (§. 443.). [658]

659 Discontinuirliche Entladung in Flüssigkeiten. Die tropfbaren Flüssigkeiten, obgleich an Leitungsvermögen weniger von einander verschieden, als die starren Körper, lassen dennoch beide Entladungsarten in eben der verschiedenen Weise zu, wie diese. Die sehr unvollkommen leitenden Flüssigkeiten (fette und ätherische Oele, Alkohol) geben nur bei discontinuirlicher Entladung eine augenblickliche Entladung der Batterie, die besser leitenden (wässrige Lösungen von Säuren und Salzen, Wasser) auch noch bei der continuirlichen Entladung. Bei diesen letzteren ist der Effect der Entladung sehr verschieden nach der einen oder andern Art derselben, obgleich in beiden Fällen die Batterie ihre Elektricität augenblicklich verliert. Die continuirliche Entladung geschieht ohne Geräusch und Lichterscheinung, die Flüssigkeit bleibt unverändert oder wird elektrolysirt (ihre Bestandtheile treten an bestimmten Stellen auf). Die discontinuirliche Entladung bringt einen Funken in der Flüssigkeit zu wege, schleudert sie aus einander, zersprengt häufig das Gefäfs, das sie enthält; eine Zersetzung findet an allen Stellen des Durchbruches statt (§. 555.). So augenfällig hier die beiden Arten der Entladung auftreten, die durch sehr geringe Unterschiede der Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie bestimmt werden, so ist hier noch der grofse Unterschied der Verzögerungswerthe zu bemerken, wel-

[659] che die in den Schliefsungsbogen eingeschaltete Flüssigkeitssäule erhält. Ich brachte in eine Unterbrechung des Schliefsungsbogens der Batterie zwei im rechten Winkel gebogene Platindräthe von 0,22 Linie Dicke, und stellte ihre Spitzen, die $\frac{1}{3}$ Linie von einander entfernt waren, in ein Gefäfs mit destillirtem Wasser. Ein an einer anderen Stelle eingeschaltetes elektrisches Thermometer gab bei Entladungen verschiedener Dichtigkeiten die folgenden Erwärmungen an.

Flaschenzahl s	Elektricitätsmenge q	Erwärmung Θ	
4	5	0	
	$5\frac{1}{2}$	0	
	6	0	
	$6\frac{1}{2}$	27,5	
	7	35,0	32
3	4	0	
	$4\frac{1}{2}$	0	
	5	19,0	22,4
	$5\frac{1}{2}$	32,3	27,5

In beiden Fällen ging die continuirliche Entladung durch das Wasser in eine discontinuirliche über, durch Steigerung der Dichtigkeit der entladenen Elektricität von 1,5 zu 1,6. Wie verschieden der Verzögerungswerth der Wasserschicht bei beiden Entladungsarten war, ist deutlich, da, wenn dieser Werth mit V bezeichnet wird, $\Theta = \frac{1}{1+bV}\frac{q^2}{s}$. Wäre dieser Werth bei $s=4$ und $q=6$ derselbe gewesen, wie bei $q=6\frac{1}{2}$, so hätte bei der ersten Elektricitätsmenge die Erwärmung 23 Lin. gefunden werden müssen, ebenso für $s=3$ $q=4\frac{1}{2}$ eine Erwärmung $15\frac{1}{2}$ Lin. Statt Beider ist im Thermometer keine wahrnehmbare Senkung der Flüssigkeit eingetreten. Bei den Flüssigkeiten nimmt also, indem statt der continuirlichen die discontinuirliche Entladung stattfindet, der Verzögerungswerth der Flüssigkeitsschicht in einem aufserordentlich grofsen Verhältnisse ab. Die verschiedenen oben angeführten Erwärmungen bei identischen Versuchen können nicht auffallen, da die discontinuirliche Entladung bei dem Durchbrechen einer flüssigen Masse nicht immer genau denselben Weg nehmen wird.

660 Discontinuirliche Entladung in luftförmigen Stoffen. Die Luftarten sind so unvollkommene Leiter der

Elektricität, daſs in ihnen die continuirliche Entladung nicht [660] mehr als elektrischer Strom beobachtet, und daher nicht als Entladung im engeren Sinne bezeichnet wird (§. 655.). Wir haben diese Entladung bereits unter dem Namen der elektrischen Zerstreuung kennen gelernt (§. 92.). Die discontinuirliche Entladung findet in Luftarten sehr leicht statt, und zwar desto leichter, je geringer die Dichtigkeit der Luftarten ist (§. 643.); die Wirkungen dieser Entladung sind theils mechanischer, theils chemischer Natur und bereits früher mitgetheilt worden. Der Verzögerungswerth der durchbrochenen Luftschicht ist dabei so klein, und wird durch Nebenumstände so verdeckt, daſs jener Werth, wie sich bei der specifischen Unterbrechung des Schlieſsungsbogens gezeigt hat (§. 437.), nicht immer mit der Länge der Luftschicht zunimmt. Die Entladung wird hier sehr merkbar durch einen eigenthümlichen Schall, und hauptsächlich durch eigenthümliche Lichterscheinungen, die vom Anfange des Studiums der Elektricität an die Aufmerksamkeit der Beobachter auf sich gezogen haben. Ich will diese Erscheinungen in dem folgenden Kapitel abhandeln, unter dem Namen der begleitenden Entladungserscheinungen, da bei fast allen Entladungen zwischen dem Ende des Schlieſsungsbogens und einer Belegung der Batterie eine Luftschicht durchbrochen wird.

Zweites Kapitel.

Die begleitenden Entladungserscheinungen.

Der Entladungsfunke der Batterie.

661 Die Entladung der Batterie, geschehe sie zwischen zwei von einander entfernten Kugeln, oder zwischen Kugeln, die einander bis zur Berührung genähert werden, ist von einem Funken und einem Geräusche begleitet. Beide Erscheinungen sind von veränderlicher Stärke, und man überzeugt sich leicht, daſs sie zunehmen mit der Elektricitätsmenge und der elektrischen Dichtigkeit der Batterie, und mit der Verbesserung des Leitungsvermögens des Schlieſsungsbogens. Sie sind also nicht direct von der Gröſse der Schlagweite abhängig, die allein durch die Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie bestimmt wird. Man kann leicht Entladungen mit derselben Schlagweite und den verschiedensten begleitenden Erscheinungen erhalten. Fünf Flaschen meiner Batterie gaben bei einer bestimmten Ladung, und der Einschaltung eines $\frac{1}{3}$ Lin. dicken, 4 Lin. langen Kupferdrathes in den gut leitenden Schlieſsungsdrath, einen $1\frac{1}{2}$ Lin. langen Entladungsfunken von unerträglichem Glanze, der von einem schmetternden Schalle begleitet wurde. Als der Kupferdrath mit einem 102 Zoll langen, sehr dünnen Platindrathe vertauscht wurde, erschien der Entladungsfunke mit schwachem Lichte und einem dumpfen Geräusche, und als an seine Stelle eine 8 Zoll lange Wassersäule gesetzt war, wurde Licht und Schall bei der Entladung kaum merklich. Man sieht, daſs in diesen Fällen die Erwärmung eines constanten Drathes im Schlieſsungsbogen mit den Entladungserscheinungen in gleichem Sinne geändert worden wäre. Die Uebereinstimmung der Stärke der Erwärmung und der Entladungserscheinungen findet sich überall wieder, und daher auch bei einer merkwürdigen Anordnung des Versuches, die bisher

noch nicht angewendet worden ist. Ich werde später anführen, dafs die Erwärmung im Schliefsungsbogen vermindert wird, wenn man zur Seite des Bogens und ihm parallel einen andern Drath ausspannt, und diesen vom Schliefsungsbogen gänzlich getrennten Drath in geeigneter Weise schliefst. Ich wand einen 51 Fufs langen Kupferdrath zu einer ebenen Spirale auf [1]), die in den Schliefsungsbogen der Batterie eingeschaltet wurde, stellte dieser eine ganz gleiche Spirale in 2 Lin. Entfernung gegenüber, und trennte beide Spiralen durch eine Glasscheibe. Die Enden der zweiten (Neben-) Spirale blieben zuerst frei oder wurden durch einen 6 Zoll langen Kupferdrath geschlossen. In beiden Fällen gab die Entladung der Batterie, die bei Ladung mit einer bestimmten Elektricitätsmenge eine Schlagweite von 1½ Lin. hatte, im Schliefsungsbogen genau dieselbe Erwärmung. Funke und Knall waren bei der Entladung sehr stark. Als hingegen die Nebenspirale durch einen 102 Zoll langen, 0,052 Lin. dicken Platindrath geschlossen war, wurde in der Hauptschliefsung eine weit geringere Erwärmung bewirkt, und zugleich erschienen Funke und Knall sehr geschwächt, obgleich die Schlagweite sich nicht geändert hatte. Wir können deshalb aussprechen: bei der Entladung der Batterie variirt die Stärke von Funke und Knall gleichmäfsig mit der Erwärmung eines constanten Drathes im Schliefsungsbogen. [661]

[662] Messung der Lichtstärke des Entladungsfunkens. Der Zusammenhang zwischen Lichtstärke des Funkens und Erwärmung im Schliefsungsbogen, der in den vorhergehenden Versuchen dem Auge bei grofser Veränderung merklich wurde, ist im Allgemeinen von Masson [2]) durch photometrische Messung vollkommen bestätigt worden. Diese Messung stützt sich auf folgende Erfahrung. Man lasse Licht durch die Thürspalte auf die Wand eines durch eine Kerze mäfsig erleuchteten Zimmers fallen, so wird man einen hellen Streif bemerken, der eine zwiefache Beleuchtung erhalten hat, während der übrige Theil der Wand nur einfach beleuch-

[1]) Poggend. Ann.* 53. 18.
[2]) *Annales de chim.* 3 *sér.** 14. 129.

[662] tet ist. Verstärkt man die innere Beleuchtung, indem man die Kerze der Wand näher rückt, so wird der Streif immer weniger von dem Grunde abstechen, und zuletzt bei einer bestimmten Stellung der Kerze verschwinden. Nicht jedem Auge wird der Streif bei derselben Stellung der Kerze unsichtbar, aber für jedes Auge ist die Bedingung des Verschwindens von der absoluten Stärke der beiden Beleuchtungen unabhängig, und wird allein von ihrem Verhältnisse zu einander gegeben. Jedesmal, wenn der Streif so eben aufgehört hat, bemerkt zu werden, hat die Beleuchtung der Wand durch die Kerze dasselbe Verhältniſs zu der Beleuchtung durch die auſserhalb des Zimmers angebrachte Lichtquelle. Die Stärke der letzteren kann daher durch die Beleuchtung der Wand gemessen werden, oder, da die Beleuchtung bei gleichem Auffallswinkel von dem umgekehrten Quadrate der Entfernung der Kerze von der Wand bestimmt wird, durch diese Entfernung. Was hier für zwei dauernde Beleuchtungen auseinandergesetzt ist, gilt auch für den Fall, wo die eine Beleuchtung nur momentan vorhanden ist.

663 Masson befestigte eine Pappscheibe von 8 Centimeter Durchmesser, die in 60 abwechselnd schwarz und weiſs gefärbte Sectoren getheilt war (Fig. 123.), auf der Axe einer Büchse, die durch ein Uhrwerk in schnelle Rotation versetzt wurde (200—250 Umdrehungen in der Sekunde). Durch eine Kerze beleuchtet, erscheint diese Scheibe während des Rotirens gleichmäſsig hellgrau gefärbt; beleuchtet man sie hingegen durch einen elektrischen Funken, so werden die einzelnen Sectoren so scharf gesehen, als ob die Scheibe in Ruhe wäre. Die Dauer des Funkens ist nämlich so gering, daſs während seines Leuchtens die Sectoren um ein völlig unbemerkbares Stück fortrücken. Wird die Scheibe gleichzeitig durch die Kerze und den Funken beleuchtet, so kommt es auf die relative Stärke beider Lichtquellen an, ob sie grau oder in Sectoren getheilt gesehen wird. Man fange mit einer Stellung beider Lichtquellen an, bei welcher die Sectoren gesehen werden, und entferne entweder den Funken von der Scheibe, oder nähere ihr die Kerze, bis die Sectoren verschwinden. An der letzten Entfernung der verschobenen Lichtquelle hat man ein

relatives Maaſs für die Lichtstärke des Funkens. Läſst man [663] nämlich die Stelle unverändert, wo der Funke erzeugt wird, und verschiebt die Kerze, so giebt der umgekehrte Werth des Quadrats der Entfernung von Kerze und Scheibe, nach dem vorigen Paragraphe, das Maaſs der Lichtstärke des Funkens. Bleibt hingegen die Kerze unverrückt, und entfernt man den Funkenapparat von der Scheibe, so giebt das Quadrat der Entfernung von Apparat und Scheibe das gesuchte Maaſs. Zur Begründung dieser Messung muſste der Satz bewiesen werden, daſs, wie bei dauernden, auch bei momentanen Lichtquellen die Stärke der Beleuchtung einer Fläche bei gleichem Auffallswinkel dem Quadrate der Entfernung proportional ist, was Masson in vorläufigen Versuchen gethan hat, in welchen Kerze und Funke gleichzeitig von der beleuchteten Scheibe entfernt wurden.

664 Der ganze, zu den folgenden Versuchen gebrauchte Apparat, elektrisches Photometer genannt, ist in Fig. 124 in horizontaler, in Fig. 125 in verticaler Ansicht dargestellt. Der Apparat war in einem schwarz bekleideten Zimmer aufgestellt, der durch die Wand *MN* von dem Raume getrennt war, in dem sich eine Elektrisirmaschine und eine Ladungstafel befanden. Durch die Wand geht die gefirniſste Glasröhre *V'H'* mit dem Drathe *V'* hindurch, der zu der direct geladenen Belegung der Ladungstafel führt; ebenso geht Röhre und Drath *VH* durch eine tiefere Stelle der Wand und steht mit der andern Belegung der Ladungstafel in Verbindung. Die Enden der Dräthe *V'G'*, *VG* tauchen in die beiden Holzrinnen *L'L'* und *LL*, die mit schwarzem Siegellack ausgekleidet und mit Quecksilber angefüllt sind. Die Rinne *L'L'* ist auf Glasfüſsen vollkommen isolirt, die Rinne *LL* auf einem unverrückbaren Tische befestigt, neben dem, in Millimeter getheilten, Lineale $\alpha\beta$ und der über Rollen laufenden Kette *QQ'*, die durch eine Kurbel in Bewegung gesetzt wird. An dieser Kette befestigt, und daher mit ihr beweglich, ist der Apparat, in welchem der Entladungsfunke erzeugt wird; dieser Apparat ist dem früher beschriebenen Funkenmikrometer (§. 330.) ähnlich, nur besteht die Scheibe *R*, durch welche die Schraube gedreht wird, aus Glas. Der isolirte Theil *T* des Apparats

[664] steht durch einen Drath mit der Quecksilberrinne $L'L'$, der nicht isolirte T mit der Rinne LL in Verbindung. Das Fufsbrett der ersten Rinne oo ist durch Flügelschrauben befestigt, so dafs die Rinnen einander parallel gestellt werden können. Normal gegen die Rinnen ist die mit einer Theilung versehene Leiste $V''U''$ gestellt, auf der eine Carcellampe verschoben werden kann, die mit einem geschwärzten, mit einer runden Oeffnung versehenen, Holzkasten bedeckt wird. (Die Carcellampe, zur Zeit in den Haushaltungen gebräuchlich, enthält ein Uhrwerk, welches das Oel zum Dochte hinaufpumpt, und giebt ein sehr gleichförmiges Licht.) Der Mittelpunkt der photometrischen Scheibe ε, der Schlagraum am Mikrometer TT' und der Mittelpunkt der Lampenflamme liegen in derselben Horizontalebene. Die Bahn der Lampe $V''U''$ und die des Mikrometers QQ' sind unter einem Winkel von 45° gegen die Ebene der photometrischen Scheibe gerichtet, die durch das normal gegen sie gerichtete und geschwärzte Rohr $a''b''$ betrachtet wird. — Der Apparat ist hauptsächlich dazu bestimmt, die Lichtstärke des Funkens durch die Entfernung des Funkens von der Scheibe zu messen. Man stellt die Lampe auf eine bestimmte Stelle ihrer Bahn, erregt den zu messenden Funken fortdauernd zwischen den Kugeln TT' durch fortgesetzte Ladung der Ladungstafel, rückt das Mikrometer so nahe an die rotirende Scheibe, dafs die Sectoren deutlich gesehen werden, und entfernt es behutsam bis zu der Stelle, an der die Sectoren verschwinden. Durch die Entfernung dieser Stelle von der Scheibe ist die relative Stärke des Funkens gegeben. Ist nämlich die Lichtstärke zweier Funken F und F', die Entfernung der Funken von der Scheibe beziehungsweise x und x', so hat man $\frac{F'}{F} = \left(\frac{x'}{x}\right)^2$.

665 Eine Ladungstafel von 400 Quadratcentimeter Belegung wurde durch das Funkenmikrometer entladen, dessen Kugeln in die veränderliche Entfernung d gestellt waren. Bei dem Verschwinden der Sectoren der Scheibe wurden folgende Entfernungen des Mikrometers von der Scheibe gefunden.

[665]

Schlagweite d	Entfern. des Mikrom. von d. Scheibe beobachtet x	berechnet nach $x = 117\,d$
3,5 Millim.	408 Millim.	409,9
4,5	526	526,5
5,5	644	643,5
6,5	764	760,5
7,5	882	877,5
8,5	1001	994,5

Die Lichtstärke des Funkens bei x Mm. Entfernung von der Scheibe ist $F = x^2$, wenn die Lichtstärke bei der Entfernung 1 zur Einheit angenommen wird. Da nach den Versuchen die Entfernungen den Schlagweiten d proportional sind, so hat man $F = a\,d^2$. Diese Schlagweiten waren an einer Ladungstafel von unveränderlicher Belegung genommen. Um den Einfluſs der Belegung auf die Lichtstärke des Funkens zu bestimmen, wurde die Gröſse der Ladungstafeln geändert, die Schlagweite des gemessenen Funkens aber constant gelassen.

Gröſse der Belegung s	Entfernung des Mikrometers beobachtet x	berechnet nach $x = 2{,}097\sqrt{s}$
22500 (Quadr. Mm.)	314 Mm.	315,2
40000	420	419,4
60000	514	513,8

Die Entfernungen des Mikrometers von der Scheibe sind den Quadratwurzeln der Belegung proportional, die Lichtstärken der Funken also den Belegungen. Wenn man also Schlagweite und Belegung veränderlich nimmt, so hat man die Lichtstärke $F = a\,d^2 s$. Die Schlagweite d ist proportional $\frac{q}{s}$ (§. 393.), wo s die Gröſse der Belegung, q die Elektricitätsmenge bedeutet; es wird danach $F = a\,\frac{q^2}{s}$, welcher Ausdruck früher für die Erwärmung in einem constanten Schlieſsungsbogen gefunden worden ist (§. 421.). In einem constanten Schlieſsungsbogen ist die Lichtstärke des Entladungsfunkens proportional der an einer bestimmten Stelle des Bogens erregten Wärmemenge.

666 Diesen merkwürdigen Satz hat Masson noch in vielen anderen Versuchsreihen bestätigt gefunden. Zuweilen wurde

[666] die Elektricitätsmenge und Dichtigkeit auf der Ladungstafel in verschiedenem Verhältnisse geändert, und die Schlagweite aufgesucht, bei welcher der Funke die Sectoren der Scheibe so eben verschwinden machte. Obgleich diese complicirte Art des Versuches keine grofse Genauigkeit und daher keine genaue Uebereinstimmung mit der Rechnung erwarten läfst, so will ich ein Beispiel anführen. Die Lampe war in die Entfernung von 540 Millim., das Funkenmikrometer 180 Millim. von der Scheibe gestellt. Bei Anwendung von Ladungsplatten verschiedener Gröfse (die Quadratwurzel der Belegung ist in der folgenden Tafel angegeben) wurde während der Entladungen die Entfernung der Kugeln des Mikrometers so lange verkleinert, bis die Sectoren der Scheibe nicht mehr gesehen wurden. Für diese Versuche ist in der Formel $F = a d^2 s$, F und a constant, man hat die Schlagweite $d = \frac{c}{\sqrt{s}}$ und für c den Mittelwerth 742. Die hiernach berechneten Schlagweiten stimmen mit der Beobachtung genügend überein.

Quadratwurzel der Gröfse der Belegung. $\sqrt{s}$	Schlagweite des Funkens beobachtet d	berechnet
200 Mm.	3,76 Mm.	3,71
244	3,14	3,04
283	2,60	2,62
300	2,38	2,47

Ueber den Einflufs, den die Beschaffenheit des Schliefsungsbogens auf die Lichtstärke des Funkens übt, sind von Masson nur wenige Versuche angestellt worden [1]). Nach diesen vermindert eine Verlängerung des Bogens die Lichtstärke in demselben Verhältnisse, in dem die Erwärmung einer constanten Stelle des Schliefsungsbogens vermindert worden wäre. Der Satz, dafs mit veränderter Wärme an einer bestimmten Stelle des Schliefsungsbogens die Lichtstärke des Entladungsfunkens in gleichem Verhältnisse variirt, scheint daher ganz allgemein zu gelten.

667 Materielle Theile im Funken. Die Lichtstärke des Funkens hängt nicht allein von elektrischen Bedingungen, son-

[1]) *Annales de chim.* 3. *sér.* 30. 8.

dern auch von der materiellen Beschaffenheit der Körper ab, [667] zwischen welchen er zum Vorschein kommt. Die discontinuirliche Entladung, die in der Luft den Funken erzeugt, beginnt in einer geringen Tiefe der festen Körper, welche den Luftraum begränzen, und übt daselbst alle Wirkungen aus, die von ihr früher nachgewiesen worden sind. Diese Körper werden an der Oberfläche heifs und zeigen eine Schmelzung, es werden von ihnen Theile losgerissen, glühend gemacht und mit grofser Gewalt fortgeschleudert. In dem Raume, wo der Funke erscheint, müssen daher glühende Theile der Körper vorhanden sein, die diesen Raum begränzen. Für diese Thatsache sind mehrere Beweise gegeben worden. Am einfachsten geht sie aus dem Ansehen der Körper selbst hervor; Kugeln, zwischen welchen der Funke übergeht, sind nach längerem Gebrauche mit Gruben besetzt, aus welchen sichtlich Metall fortgeschleudert worden ist. Ferner ändert sich die Lichtstärke des Funkens mit dem Metalle der Kugeln. Der Funke mufs desto glänzender sein, je mehr Metalltheile er enthält, und die Menge der losgerissenen glühenden Theile ist verschieden nach der Festigkeit des Metalls. Masson befestigte Kugeln von 4 Millimeter Durchmesser am Funkenmikrometer seines Apparats (§. 664.), und brachte bei fester Stellung der Lampe eine gleiche Beleuchtung der Scheibe hervor, indem er die Schlagweite der Funken änderte, oder indem er bei constanter Schlagweite die Entfernung der Funken von der Scheibe änderte. Beide Arten der Beobachtung stimmten darin überein, dafs unter sonst gleichen Umständen Kugeln von Zink, Zinn, Blei Funken von gröfserer Lichtstärke gaben, als Kugeln von Kupfer, Messing, Eisen. Die erstgenannten Metalle sind weniger fest als die letzten, ihr Zusammenhang ist durch geringere Kraft zu lösen, und daher konnten von ihnen mehr Theile in den Funkenraum gerissen werden. Ebenso kann die Beschaffenheit der Oberfläche eines Metalles die Losreifsung, und damit die Funkenhelle, begünstigen. Masson fand, dafs matt gelassene Kugeln Funken von stärkerem Lichte geben, als polirte, und dafs amalgamirte Kugeln das hellste Licht geben. Das matte Ansehen entsteht durch Furchen und Höcker am Metalle, und im Amalgam ist die Trennung und Verflüch-

[667] tigung des Quecksilbers Ursache des gröfseren Glanzes der Funken.

668 Einen andern Beweis für die Losreifsung von materiellen Theilen durch den Funken giebt die verschiedene Farbe der Funken je nach der Materie des Körpers, aus dem sie gezogen werden. Hales [1]) legte auf einen eisernen elektrisirten Conductor ein Stück Kupfer, auf dieses ein Ei, und fand die Funken, die er aus dem Eisen zog, weifs, aus dem Kupfer grün, aus dem Eie gelb. Nach späteren Versuchen [2]) ist der Funke weifs, wenn man ihn aus dem Conductor einer Maschine mittels Blei, Zinn, Quecksilber oder Silber zieht; Eisen, Antimon, Gold färben ihn röthlich, Kupfer, Messing, Zink grünlich. Wollaston fand in dem Spectrum, das man erhält, wenn der elektrische Funke durch ein Glasprisma betrachtet wird, eine verschiedene Färbung vorherrschend je nach der Substanz, aus welcher der Funke gezogen wird. Schärfer ist dies durch folgende Versuche dargethan worden. Fraunhofer [3]) verband zwei Metallstücke durch einen sehr dünnen, $\frac{1}{2}$ Zoll langen Glasfaden, und setzte das eine Stück mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine, das andere mit der Erde in Verbindung. Bei dem Spiele der Maschine ging ein Funkenstrom auf dem Glasfaden über, und bildete eine glänzende Lichtlinie, die, durch ein Fernrohr betrachtet, vor dessen Objectiv ein Glasprisma befestigt war, ein Spectrum zeigte, in welchem mehrere helle Querlinien standen. Besonders war eine sehr helle Linie im Grün des Spectrum auffallend. Als Wheatstone [4]) diesen Versuch wiederholte, fand er die Querlinien an Zahl und Länge verschieden, wenn er die Kugeln, zwischen welchen der Funkenstrom überging, aus verschiedenen Metallen wählte. Bestand jede der beiden Kugeln aus anderem Metalle, so wurden gleichzeitig die Linien gesehen, die jedem Metalle eigen waren. Masson [5]) hat dies Resultat bestätigt, indem er einen Batteriefunken zwischen je zwei Polen aus Kohle, Cadmium, Antimon, Wismuth, Blei, Zinn,

---

[1]) *Phil. transact.* 1748. — *abridg.** 9. 534. [2]) Saxtorph Elektricitätslehre* 1. 225. [3]) Denkschr. d. Münchener Akademie 1814 u. 15. Bestimmung der Brechung und Farbenzerstreuung* S. 29. [4]) Poggend. Annalen* 36. 148. [5]) *Annales de chim. 3. sér.** 31. 295.

Zink, Eisen und Kupfer übergehen liefs, und die Abstände [668] der hellen Streifen von einander in den, von den verschiedenen Funken gebildeten, Spectren mafs. Die Messung geschah an einem Goniometer, dessen Fernrohr auf die einzelnen Streifen gerichtet wurde. Die Vertheilung der Streifen im Spectrum war im Allgemeinen verschieden nach der Natur der Pole, zwischen welchen der Funke überging, doch wurden 4 ausgezeichnet helle Streifen bemerkt, deren Lage in allen Spectren gleich war. In Flüssigkeiten erzeugte Funken bildeten Spectra, die keine Spur eines Streifens zeigten, doch konnten diese Funken in Wasser, Alkohol, Aether nicht über 3, in Terpenthinöl nicht über 10 Millimeter lang erhalten werden.

Endlich sind in Bezug auf die Anwesenheit von Metalltheilen im Funken noch die Versuche von Fusinieri[1]) zu erwähnen. Mit dem Innern einer Batterie wurde eine silberne Kugel verbunden, und ihr nahe eine polirte Kupferscheibe isolirt aufgestellt (letztere von 9 Centim. Durchmesser, $\frac{3}{8}$ Millim. Dicke). Bei Verbindung der äufseren Belegung der Batterie mit der Rückseite der Kupferscheibe wurde die Batterie entladen. Auf der Vorderfläche der Kupferscheibe wurden an der Stelle, wo der Funke übergegangen war, Punkte von geschmolzenem Silber sichtbar, auf der Silberkugel schwarze Punkte, aus Kupferoxyd bestehend. Als eine goldene Kugel mit der Batterie verbunden, und ihr eine polirte Silberscheibe von der Dicke eines Kartenblattes nahe gebracht war, wurde auf der, gegen die Kugel gerichteten, Silberfläche nach der Entladung eine dünne Goldschicht bemerkt. Diese Ueberführung von Metalltheilen durch eine dünne Luftschicht hat nichts Auffallendes. Wenn aber der Beobachter auf der von der Kugel abgewandten Fläche der Scheibe Metallflecke bemerkt haben will, die von der Kugel herrühren sollen, und daher annimmt, dafs mit dem Funken Silber durch die Masse der Kupferscheibe, und Gold durch die Silberscheibe hindurchgetrieben und auf der Rückfläche abgesetzt worden sei, so beruht dies ohne Zweifel auf einer Täuschung.

[1]) *De la Rive archives de l'électr.** 3. 597.

Die elektrischen Lichterscheinungen am einfachen Leiter.

669 Das Licht, das bei der discontinuirlichen Entladung in Luft auftritt, ist nach den Umständen der Entladung von sehr mannigfaltiger Beschaffenheit. Am leichtesten erhält man es unter der Form des Funkens, und so fast immer bei der Entladung der Batterie, da man bei der Zerbrechlichkeit des Apparats eine grofse Dichtigkeit der entladenen Elektricitätsmenge vermeiden mufs. Bei dem einfachen Conductor der Elektrisirmaschine hat man diese Vorsicht nicht anzuwenden, man erhält an ihm ohne Gefahr und in kurzer Zeit Elektricität von sehr verschiedener Dichtigkeit, und kann daher das elektrische Licht in seinen verschiedenen Formen erhalten. Ich will diese Lichtformen, über welche, obgleich sie bis zum Ueberdrufs hervorgebracht und beschrieben worden, keine genauen und messenden Versuche vorhanden sind, in der Kürze abhandeln, und die sie begleitenden Erscheinungen zugleich mit anführen.

Der elektrische Funke.

670 Gestalt und Länge. Der Funke, den wir schon früher häufig kennen gelernt haben, entsteht, indem man dem Conductor einen nicht isolirten abgerundeten Leiter bis zu einer gewissen Weite nähert. Die Bahn des Funkens, die bei geringer Länge (Schlagweite) an der Batterie wie am Conductor geradlinig erscheint, ist schon bei der Länge von einigen Zollen zickzackförmig. Man sieht dann zwischen dem Conductor und dem genäherten Leiter eine mehrfach im stumpfen Winkel geknickte Lichtlinie, die bei gröfserer Elektricitätsmenge an den Winkeln ausfahrende Aeste zeigt. Diese Linie ist bei längeren Funken (von etwa 6 Zoll an) nicht überall gleich hell, es findet sich darin eine lichtschwache Stelle, die am häufigsten dem Leiter zunächst liegt, der negative Elektricität enthält. Ist also der Conductor positiv elektrisirt, so liegt die dunkle Stelle des Funkens an dem genäherten Leiter, ist er negativ, an dem Conductor selbst. Grofs

hat 2 Stellen an den langen Funken unterschieden, an welchen das Licht dünner als sonst erscheint. Die zackige Form des Funkens wird bei positiv wie bei negativ elektrisirtem Conductor bemerkt, nur ist es, weil die Elektrisirmaschine nach ihrer Construction an positiver Elektricität ergiebiger ist, als an negativer, und die positiven Funken daher länger sind (§. 282.), bei kleinen Maschinen leichter, diese Form durch den positiv elektrisirten Conductor merklich zu machen. Die Länge der Funken ist, wie die Schlagweite der Batterie, abhängig von der elektrischen Dichtigkeit der Stelle des Conductors, an welcher der Funke genommen wird. Die Funken sind desto länger, je dichtere Elektricität entladen wird, ihre Länge wird durch die Form des Conductors und durch die Ergiebigkeit der Maschine bestimmt, weil fortwährend von der Oberfläche des Conductors Elektricität sich in die Luft zerstreut. Oft auch geschieht eine Ausströmung von Elektricität mit eigenen Lichterscheinungen, durch welche die Dichtigkeit des Conductors auf einem Werthe erhalten wird, der nicht überschritten werden kann. Um an dem Conductor einer gegebenen Elektrisirscheibe die längsten Funken zu erhalten, mufs die betreffende Stelle des Conductors zwar möglichst dichte Elektricität halten, die aber doch nicht so grofs sein darf, um eine Ausströmung zu bewirken. Auf die Dichtigkeit dieser Stelle hat aber, wie wir bei dem Entladungsfunken der Batterie gesehen haben (§. 626.), auch die Gestalt und Gröfse des genäherten Leiters Einflufs, so dafs der Körper nicht gleichgültig ist, mit dem man einen Funken aus dem Conductor zieht. Pfaff [1]) erhielt an seiner sehr wirksamen Maschine die längsten Funken (von 18 Zoll), wenn er an dem Conductor eine 4zöllige Kugel befestigte, und dieser eine 8zöllige Kugel näherte. [670]

671 Damit an einer Stelle des Conductors nach einem gegebenen Leiter hin ein Funke von bestimmter Länge entstehe, ist es nöthig, dafs jene Stelle sowol, wie der gebotene Leiter eine bestimmte elektrische Dichtigkeit annehme, und bis zum Durchbruche des Funkens behalte. Es wird demnach gefor-

[1]) Gehler Neues Wörterbuch* 3. 464.

[671] dert, daſs die Maschine eine so groſse Elektricitätsmenge liefere, daſs jene Dichtigkeit erreicht werde, und ferner, daſs die Steigerung der Dichtigkeit so langsam geschehe, daſs keine Ausströmung eintrete. Hält man zum Beispiel dem kugelförmigen Ende des Conductors eine Kugel so nahe, daſs bei dem Spiele der Maschine fortdauernd Funken auf jene übergehen, so erhält man keine Funken, wenn die Kugel durch eine Metallspitze ersetzt wird. Es tritt dann, statt des Funkenstroms, am Conductor und an der Spitze eine leuchtende Ausströmung ein. Auf der Spitze findet nämlich eine ganz anders fortschreitende Dichtigkeit statt, als früher auf der Kugel, und ebenso ist durch ihre Annäherung die Dichtigkeit auf dem Conductor wesentlich geändert worden. Um mit der Spitze wiederum Funken vom Conductor zu erhalten, muſs man dem Conductor mit der Spitze sehr nahe kommen, zu einer Stelle nämlich, wo trotz der Ausströmung dem Conductor die zum Funken nöthige Elektricitätsmenge dauernd verbleibt. Entfernt man sich mit der Spitze so weit vom Conductor, daſs die Ausströmung aufhört, so ist in den gewöhnlichsten Fällen die Entfernung zu groſs, als daſs die zu einem so langen Funken nöthige Elektricitätsmenge von der Maschine geliefert werden kann. In speciellen Fällen findet aber diese Hinderung nicht statt, der Conductor erhält noch die nöthige Dichtigkeit, und man hat dann die seltsame Erscheinung, daſs kurze und lange Funken erhalten werden können, aber keine Funken von dazwischen liegenden Längen. Groſs [1]) hat zum Gelingen der Versuche über diese, von ihm sogenannten, elektrischen Pausen folgende Bedingungen angegeben, die aber nur für seine Elektrisirmaschine Gültigkeit haben können. Ein dünner und mindestens 30 Fuſs langer Drath wurde als Conductor der Maschine benutzt, der in einer Kugel von 7 bis 8 Linien Dicke endigte. Dieser Kugel wurde das Ende eines 8 Linien dicken Metallstabes genähert, das zu einem Kegel von 60 Graden gefeilt, und dessen Spitze so lange abgestumpft worden war, bis sie die geforderte Erscheinung zeigte. Mit verschiedenen Spitzen wurde eine Menge von Versuchen aus-

---

[1]) Elektrische Pausen* Leipz. 1776.

geführt, in welchen bei fortdauerndem Drehen der Maschine [671] zuerst die kleinste Entfernung von Kugel und Spitze aufgesucht wurde, bei welcher kein Funke erschien; die Entfernung wurde sodann so lange vergröſsert, bis ein Funke erhalten wurde (diese beiden Entfernungen geben die Gröſse der Pause), und zuletzt der längste Funke aufgesucht, der überhaupt hervorgebracht werden konnte. Einige Beispiele mögen dies erläutern.

Pause		längster Funke
3 bis	$11\frac{1}{4}$ Lin.	$17\frac{1}{4}$ Lin.
$3\frac{3}{4}$	18	$30\frac{7}{10}$
$7\frac{3}{8}$	$16\frac{7}{8}$	$32\frac{3}{4}$
15	18	$26\frac{1}{4}$

Jeder Versuch bezieht sich auf eine andere Kugel oder Spitze. In dem ersten Versuche wurden also Funken erhalten, wenn die Entfernung von Kugel und Spitze weniger als 3 Linien, oder $11\frac{1}{4}$ bis $17\frac{1}{4}$ Linien betrug, nicht aber, wenn diese Entfernung zwischen 3 und $11\frac{1}{4}$ Linien betrug. Die Pause fängt mit 3 Linien an und endigt mit $11\frac{1}{4}$ Linien.

Während der Pausen wurden an den Leitern, zwischen 672 welchen nach den Pausen die Funken auftraten, eigenthümliche Lichterscheinungen gesehen, unter welchen die Ausströmung der Elektricität erfolgte. An der Spitze erschien am Anfange der Pause ein Lichtpinsel von sehr kurzen röthlichen Strahlen, an der ihr gegenüber liegenden Kugelfläche ein blasses phosphorisches Licht, das ungefähr ein Drittel der Fläche einnahm. Dies Licht nahm an Umfang ab, je mehr die Spitze von der Kugel entfernt wurde, und zugleich nahm der Strahlenpinsel an Länge zu, bis endlich am Ende der Pause von Kugel und Spitze prasselnde Lichtausströmungen erfolgten, die sich in der Mitte vereinigten. Daſs die ganze Erscheinung der Pausen von einer, durch die Spitze auf den nächsten Punkten der Kugelfläche hervorgerufenen, besonderen Anordnung der Elektricität herrühre, zeigte sich durch die Aufhebung der Pausen, die bei Annäherung eines Leiters an den Raum eintrat, in welchem die Lichterscheinung stattfand. Standen nämlich Kugel und Spitze in der Entfernung, wo keine Funken erschienen, so konnten dennoch Funken erhalten werden,

[672] wenn man die Hand der Kugel oder Spitze nahe brachte. Wir wissen nun, daſs durch diese Annäherung die elektrische Dichtigkeit auf der Kugel vermindert werden muſste. Geschah eine Annäherung beider Hände an gegenüberliegenden Seiten des Schlagraums, so konnte die Pause wiederhergestellt werden. — Die elektrischen Pausen sind von Nairne [1]) beobachtet worden an einem 6 Fuſs langen, 1 Fuſs breiten Cylinder, der mit einer Kugel von 4½ Zoll Durchmesser endigte und durch eine kräftige Elektrisirmaschine elektrisirt wurde. Eine, jener Kugel genäherte, Kugel gleicher Gröſse empfing Funken bis zu 17,4, zuweilen 19 und 20 Zoll Länge. Eine Kugel hingegen von 1 Zoll Durchmesser empfing nur Funken bis zu 2 Zoll Entfernung vom Conductor; weiter abgerückt, bis 10 Zoll, zeigte diese Kugel ein dauerndes, von einem zischenden Geräusche begleitetes Licht, das bei etwa 10 Zoll verschwand. In noch gröſserer Entfernung schlugen wieder Funken über, die bis zu 14,3, zuweilen bis 16,3 Zoll Länge fortdauerten. Man hat also in diesen Versuchen Funken von entweder weniger als 2, oder mehr als 10 Zoll Länge, und keine von dazwischen liegenden Längen. Die Erscheinung der Pausen ist merkwürdig als ein augenfälliges Beispiel der Aenderung der elektrischen Anordnung auf einem Körper durch Näherung eines neutralen Körpers; in Betreff ihrer unmittelbaren Ursache aber ist sie nicht auffallender, als die bekannte Erfahrung, daſs man häufig von einer Stelle des Conductors einer Elektrisirmaschine Funken von einer gewissen Länge ziehen kann, und dies gleich darauf nicht mehr gelingt. Bei genauer Betrachtung bemerkt man alsdann an dem Conductor oder der Auffangkugel ein Staubfädchen, welches die elektrische Anordnung auf dem betroffenen Körper so verändert hat, daſs statt der Funkenbildung eine leuchtende Ausströmung der Elektricität erfolgt.

673 Positive und negative Funken. Der Funke begleitet die Entladung zwischen zwei Körpern, von welchen der eine direct die eine Elektricitätsart, der andere durch Influenz die entgegengesetzte erhalten hat. Die Bezeichnung positive

---

[1]) *Philos. transact.* 1778. 823 — *abridg.** 14. 429.

und negative Funken giebt an, ob der direct geladene Körper [673] positiv oder negativ elektrisch ist. Bei Leitern verschiedener Gröfse ist die Länge der Funken verschieden, je nachdem der gröfsere Leiter positiv oder negativ ist. Faraday [1]) verband den Conductor einer Cylindermaschine durch einen 0,2 Zoll dicken Drath mit einer Metallkugel von 2 Zoll Durchmesser, der eine zur Erde abgeleitete Kugel von $\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser genähert wurde. Bei Ladung des Conductors mit positiver Elektricität wurden Funken erhalten, wenn die Kugeln nicht weiter als 0,49 Zoll von einander standen; bei 0,52 Zoll und gröfserer Entfernung entstanden Lichtbüschel an der abgeleiteten Kugel. Bei negativer Ladung des Conductors erschienen Funken bis 1,15 Zoll Entfernung; bei 1,65 Zoll, Büschel an der abgeleiteten Kugel. Hier war die direct geladene Kugel die gröfsere; als die Kugeln vertauscht wurden, so dafs die kleinere die directe Elektrisirung erfuhr, zeigten sich bei positiver Ladung Funken bis 0,67 Zoll Entfernung der Kugeln, von 0,72 Zoll an Büschel an der geladenen Kugel; bei negativer Ladung hingegen Funken bis 0,4 und Büschel an derselben Kugel von 0,44 Zoll Entfernung an. Es wurde durch zwei Gabeln ein doppelter Entladungsraum gebildet (Fig. 126.). Die grofsen Kugeln *A* und *D* hatten 2 Zoll, die kleinen *B* und *C* $\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser. Der Stab *L* wurde mit dem Conductor der Maschine, der Stab *R* mit der Erde in Verbindung gesetzt. Als *L* positiv elektrisirt wurde und die Entfernung von je zwei einander gegenüberstehenden Kugeln 0,9 Zoll betrug, geschah die Entladung nur bei *n* durch positive Lichtbüschel; als *L* negativ elektrisirt war, ebenfalls bei *n* mit negativen Büscheln. Dieselbe Art der Entladung trat ein, als die Entfernung der Kugeln bis 0,6 Zoll verringert war. Als der Zwischenraum *n* 0,79, der bei *o* aber 0,58 Zoll betrug, trat bei positiver Ladung von *L* die Entladung gleichgültig an einer von beiden Stellen ein, bei negativer Ladung häufiger an der Stelle *n*. Diese Versuche sind indefs ganz specieller Natur und von der Einrichtung der angewandten Elektrisirmaschine abhängig. Ich habe bei Beschreibung der Glasma-

[1]) *Exper. research.* alin.* 1487.

[673] schinen (§. 278.) angegeben, daſs bei positiver Ladung der Conductor durch Influenz, bei negativer direct durch Reibung elektrisirt wird, daſs im ersten Falle die Einsauger, im zweiten die Reibzeuge das Ende des Conductors bilden. Je nachdem positiv oder negativ elektrisirt wird, muſs daher eine gröſsere oder geringere Dichtigkeit an dem andern Ende des Conductors eintreten und diese Dichtigkeit auſserdem von der Gröſse der Kugel abhangen, welche das Ende bildet. Auch der, früher bei der Schlagweite der Batterie hervorgehobene, Einfluſs des dem elektrisirten genäherten Körpers auf die Gröſse der Schlagweite (§. 626.) ist hier in Betracht zu ziehen. Bei Faraday's Versuchen waren die positiven Funken nur dann länger als die negativen, wenn die kleinere Kugel mit dem Conductor verbunden war, die gröſsere ihr genähert wurde; bei anderen Versuchen ist dies auch bei vertauschter Stellung der Kugeln der Fall. Daſs ein Unterschied der positiven und negativen Funken nicht in der Elektricitätsart selbst begründet ist, zeigt sich an der elektrischen Batterie, bei welcher die Schlagweite gänzlich unverändert bleibt, das Innere der Batterie mag mit positiver oder negativer Elektricität versehen worden sein.

674 Farbe des Funkens in Gasen. Die Schlagweite einer Elektricität von gegebener Dichtigkeit ist verschieden nach der Gasart, die von dem Funken durchbrochen wird (§. 644.). Auffallend ist dabei die verschiedene Färbung, welche der Funke bei dem Durchbruche erhält. Man kann zu solchen Versuchen entweder eine Flasche mit der Gasart füllen und den Funken zwischen hineingeführten Dräthen überschlagen lassen, oder den Funken dicht vor der Ausfluſsöffnung eines Gasometers erzeugen. In atmosphärischer Luft ist der Funke je nach der Menge der entladenen Elektricitätsmenge verschieden gefärbt, auf die Färbung des Entladungsfunkens der Batterie hat auſserdem noch die Beschaffenheit des Schlieſsungsbogens Einfluſs. Bei ganz metallischer Schlieſsung ist der Funke weiſs, wenn eine groſse, bläulich, wenn eine geringe Elektricitätsmenge entladen wird, und röthlich, wenn ein feuchter Leiter in den Schlieſsungsbogen eingeschaltet ist. Unter Umständen, bei welchen der Funke vom Conductor in Luft

weiſs gewesen sein würde, erhielt Faraday[1]) in Gasen die [674] folgenden Färbungen. In Stickgas war der Funke blau oder purpurn und von einem stärkeren Schalle begleitet, als in Luft. In Sauerstoffgas weiſser, aber weniger glänzend als in Luft. In Wasserstoffgas hochroth mit geringem Geräusche, bei Verdünnung des Gases mit schwächerem Lichte. In Kohlensäure war die Farbe des Funkens grünlich, seine Gestalt merkwürdig unregelmäſsig; in Salzsäure weiſs, durchaus glänzend und ohne die lichtschwache Stelle (§. 670.), die in anderen Gasen, wie in Luft, bemerkt wird. In Kohlensäure zeigte sich zuweilen statt der grünen Farbe eine rothe, zuweilen waren beide Färbungen gleichzeitig vorhanden, so daſs der Funke aus zwei Stücken zusammengesetzt erschien. Der Funke scheint bei verschiedener Elektricitätsmenge in Kohlensäure verschieden gefärbt zu sein, da ihn Priestley[2]) sehr weiſs, Grotthuſs[3]) schön violett gefunden hat. Der letztgenannte Beobachter fand den Funken in Dämpfen von Alkohol und Aether grün, in Ammoniak und Phosphorwasserstoff roth, im Dampfe des kochenden Wassers gelb. Bei allen diesen Versuchen waren die Gase unter atmosphärischem Drucke; die Farbe des elektrischen Lichts in dünneren Gasen werde ich §. 677 angeben.

Der elektrische Büschel.

Wenn ein Punkt eines Leiters eine so starke elektrische 675 Dichtigkeit erreicht, daſs die Elektricität den Leiter verlassen muſs, und wenn dann kein Leiter in solcher Nähe steht, um einen Funken erscheinen zu lassen, so strömt die Elektricität in einer Menge bläulicher Strahlen aus, die gewöhnlich, durch Abstoſsung divergirend gestellt, einen leuchtenden Kegel bilden, dessen Spitze den elektrischen Leiter berührt. Diese Erscheinung heiſst der *elektrische Büschel* und ist von einem eigenthümlich zischenden Geräusche begleitet, das, sehr verschieden von dem momentanen knackenden Laute des Fun-

[1]) *Exper. research* al.* 1428.
[2]) *Exper. and observat. on air.* Lond.* 1774. 61.
[3]) Schweigger Journal der Chemie* 3. 145.

[675] kens, so lange anhält, als die elektrische Ausströmung dauert. Die Leuchtkraft des Büschels ist viel geringer, als die des Funkens. Während ein mäfsig starker Funke bei hellem Tageslichte noch sichtbar bleibt, verlangt ein kräftiger Büschel ein verfinstertes Zimmer, um sichtbar zu sein. Die Strahlen des Büschels sind um so länger, je gröfser die ausströmende Elektricitätsmenge ist, und je näher ein neutraler Körper der ausströmenden Stelle steht. Die längsten Strahlen erhält man, wenn ein neutraler Körper die noch mögliche Schlagweite erreicht, so dafs an dem elektrisirten Körper Büschel und Funken abwechselnd auftreten. Bei einer gut wirkenden Elektrisirmaschine bilden sich Büschel ohne weiteres Zuthun an den stärker gekrümmten Endigungen des Conductors. Absichtlich erhält man Büschel an einer Stelle des Conductors, wenn man sie durch Wachs rauh macht, wenn man ein zugespitztes Holzstück, oder einen am Ende rund gefeilten Drath, oder, bei starker Wirksamkeit der Maschine, eine kleine Metallkugel an die Stelle ansetzt. Faraday[1]) verband eine $\frac{7}{10}$ Zoll dicke Metallkugel durch einen Drath mit dem Conductor, und erhielt dadurch den Büschel von der Form Fig. 127. Durch eine rasche Bewegung des Auges wurde in diesem Büschel eine Menge einzelner kleiner Büschel unterschieden, in welchen die sie zusammensetzenden Strahlen deutlich zu erkennen waren. Als eine kleinere Kugel an dem Drathe befestigt war, wurde daran ein dünnerer Büschel gebildet, und das ihn begleitende Geräusch war schwächer, aber zusammenhängender, als früher. An dem abgerundeten Ende eines Drathes wurde ein noch dünnerer Büschel gebildet, mit einem noch schwächeren, aber an Ton höheren Geräusche. Es folgt hieraus, dafs der Büschel an der Stelle, wo er erscheint, nicht beständig vorhanden ist, sondern abwechselnd aufleuchtet und erlischt; dafs er also aus einzelnen Entladungen besteht, die, wie aus dem Tone geschlossen wird, in gleichen Zwischenzeiten einander folgen. Wheatstone[2]) hat dies mit dem rotirenden Spiegel (§. 400.) dem Auge bemerklich gemacht. Der

---

[1]) *Exper. research.* al.* 1426.
[2]) Poggend. Ann.* 34. 468.

Spiegel wurde hierzu etwa 90 Grade gegen seine verticale [675] Drehungsaxe geneigt, so dafs er fast horizontal stand. Ein continuirliches Licht, über dem Spiegel angebracht, gab, wenn der Spiegel rotirte, das Bild eines gleichmäfsig erleuchteten Gürtels. Als der elektrische Büschel an die Stelle des Lichts gesetzt war, erschien der Gürtel aus abwechselnd hellen und dunkeln Streifen zusammengesetzt. Die einzelnen Bilder des Büschels, welche die hellen Streifen darstellten, waren breiter als der Büschel selbst, woraus zu schliefsen ist, dafs jede einzelne elektrische Ausströmung eine mefsbare Zeit hindurch dauert.

676 Der Büschel, der in freier Luft an dem Conductor einer Maschine erzeugt wird, hat die in Fig. 127 abgebildete Kegelform, und kann mit den gebräuchlichen Maschinen bis zu 6 Zoll Länge erhalten werden. Seine Länge wird vergröfsert, damit aber zugleich seine Form verändert, wenn ihm ein Leiter (die Hand, eine Metallkugel) genähert wird. Faraday erhielt die in Fig. 128 abgebildeten Büschel, als er der ausströmenden Stelle des Conductors eine kleine Kugel von verschiedenen Seiten näherte. Um den Büschel durch Influenzelektricität zu erhalten, nähert man das abgerundete Ende eines Drathes, oder ein spitzes Holzstück einem stark geladenen Conductor. In allen diesen Versuchen geht die Ausströmung der Elektricität von einer beschränkten Stelle eines Leiters aus, und der Büschel berührt ihn daher nur in einem Punkte; man kann den Büschel aber beliebig weit ausdehnen. Van Marum [1]) legte das Ende eines $\frac{1}{100}$ Zoll dicken Eisendrathes von 207 Fufs Länge, der in weiten Windungen isolirt ausgespannt war, an den Conductor seiner grofsen Elektrisirmaschine, und sah den Drath in seiner ganzen Länge rund herum mit Zoll langen Strahlen besetzt. Fig. 129 giebt die Form eines Durchschnittes dieses kolossalen Büschels auf einer kleinen Strecke. Man kann sich den Anblick eines so gestalteten Büschels auch an den gewöhnlichen Maschinen verschaffen. Ich befestigte einen 10 Fufs langen, sehr dünnen Silberdrath an dem Conductor einer Maschine mit 2 Reibzeu-

[1]) Beschreibung einer grofsen Elektrisirmaschine.* Leipz. 1786. 9.

[676] gen (§. 283.) und isolirte ihn durch Seidenschnüre. Beim Drehen der Maschine wurde die ganze Drathlänge mit kurzen, bläulichen, fast winkelrecht auf dem Drathe stehenden Strahlen besetzt. An Stellen, wo die Ausströmung der Elektricität erschwert war, wurde der Drath schwächer leuchtend, so, wenn das Ende des Drathes zurückgebogen war, und dadurch zwei Drathstrecken einander nahe kamen. Hier trat das starke Büschellicht nur an den Aufsenseiten der parallelen Drathstücke ein. Wurde der Drath zweimal gebogen, so dafs drei einander parallele Drathstücke entstanden, so leuchteten die beiden äufseren Dräthe viel stärker, als der mittlere Drath. Diese Abänderungen des Versuches rühren von Henry [1]) her.

677 Verschiedenheit des Büschels. Die Gröfse des Büschels hängt von der Dichtigkeit der Elektricität ab und ist, wie diese, unabhängig von dem Stoffe des elektrisirten Körpers. Faraday [2]) hat den Büschel an vielen festen und flüssigen Körpern in ganz gleicher Art erhalten. Das Medium, in welchem der Büschel erzeugt wird, ändert sein Ansehen; Faraday [3]) konnte ihn in Terpenthinöl nur schwer erhalten, und giebt über sein Erscheinen in luftförmigen Stoffen Folgendes an. Die Versuche wurden in einer Glaskugel von 7 Zoll Durchmesser angestellt, in welche von entgegengesetzten Seiten 2 Dräthe, $\frac{1}{4}$ Zoll dick mit abgerundeten Enden, hineingeführt waren. In Luft ist der Büschel leicht zu erhalten, hat eine Purpurfarbe und breitet sich bei Verdünnung der Luft mit starkem ins Rosenrothe spielenden Lichte aus. In Sauerstoffgas ist er matt weifslich und kurz, selbst bei Verdünnung des Gases von nur geringer Ausdehnung. Stickgas liefert ihn leichter und schöner, als irgend ein Gas, bei Verdünnung des Gases gewinnt er eine grofse Ausdehnung und grofsen Glanz. In Wasserstoffgas ist er grünlich und ziemlich grofs, in dem verdünnten Gase sind die Verzweigungen sehr schön, aber der Glanz matt, sammetartig. In Steinkohlengas ist der Büschel schwer zu erhalten, er ist kurz und kräftig, funkenartig, gewöhnlich von grüner Farbe. Er zeigt sich an dem elektrisir-

---

[1]) Poggend. Ann.* 43. 413.
[2]) *Exper. research.* al.* 1454.
[3]) *Exper. research.* al.* 1456 *fl.*

ten, wie an dem, diesem genäherten Körper, aber so, daſs ein [677] dunkler Zwischenraum zwischen beiden Büscheln bleibt; im verdünnten Gase ist die Form besser, aber der Glanz schwach. In Kohlensäure ist der Büschel sehr beschränkt, nach Verdünnung des Gases grünlich oder purpurfarben mit schwachem Lichte. In Salzsäuregas ist der Büschel schwer zu erzeugen, denn nachdem durch Entfernung der beiden Leiter (des elektrischen und des neutralen) die Funken aufgehört haben, tritt eine stoſsweise Entladung mit Büscheln ein. Nach Verdünnung des Gases ist die Bildung des Büschels leichter, er bleibt aber klein, schwachleuchtend, an beiden Leitern von gleicher Ausdehnung. Bei starker Verdünnung sind die Verzweigungen von blaſsbläulicher Farbe. Offenbar hängen diese Veränderungen des Büschels mit dem Leitungsvermögen des Gases und den chemischen Aenderungen zusammen, die das Gas bei der Entladung erleidet.

678 Positive und negative Büschel. Der Büschel ist an Ausdehnung verschieden, wenn er an einem positiv oder an einem negativ elektrisirten Conductor erzeugt wird. Franklin [1]) lieſs den Büschel an dem Drathe eines Conductors entstehen, der entweder durch eine geriebene Glaskugel oder durch eine Schwefelkugel elektrisirt wurde. Bei Anwendung der Glaskugel war der Büschel sehr ausgedehnt und von einem rasselnden Geräusche begleitet, bei der Schwefelkugel kurz, schmal und zischend. Auch bei der Influenzelektricität zeigte sich dieser Unterschied der entgegengesetzten Elektricitätsarten. Denn als der Büschel an dem Ende eines dem Conductor genäherten Drathes erzeugt wurde, erschien der groſse Büschel, wenn die Schwefelkugel, der kleine, wenn die Glaskugel zum Elektrisiren des Conductors gebraucht wurde. Diese Versuche sind mit gleichem Erfolge an den gewöhnlichen Glasmaschinen anzustellen, an welchen der Conductor positiv und negativ elektrisirt werden kann. Faraday [2]) lieſs das abgerundete Ende eines $\frac{3}{10}$ Zoll dicken Drathes von dem Conductor einer Cylindermaschine ausgehen. Positiv elektri-

---

[1]) *Experiments and observations** 104.
[2]) *Exper. research.* al.* 1468 *fl.*

[678] sirt gab das Ende einen ausgedehnten Büschel, negativ einen kurzen; letzterer war von einem Geräusche von höherem Tone begleitet, so daſs sich vermuthen lieſs, er bestehe aus einander schneller folgenden Entladungen, als der positive Büschel. Durch schnelleres Drehen der Maschine konnte der positive Büschel in eine andere Lichterscheinung, das Glimmen (§. 680.), verwandelt werden, der negative nicht. Wurde das abgerundete Ende eines Drathes gegen den negativen Büschel gehalten, so erschien bei 8 Zoll Entfernung an diesem Ende das Glimmen, während der negative Büschel fortdauerte. Bei gröſserer Nähe des Drathes nahm das Geräusch des Büschels an Tonhöhe zu, bei noch gröſserer Nähe ging von dem Drathe ein Büschel aus (also ein positiver), und zugleich zog sich der negative Büschel zusammen, so daſs er die Gestalt eines Haarpinsels annahm (Fig. 130.). Wurde ein sehr dünner Drath dem negativen Büschel genähert, so konnten, bei einer bestimmten Entfernung der beiden Dräthe, beide Büschel von ganz gleichem Ansehen, mit einem Geräusche von gleicher Höhe, erhalten werden. Aber bei starker Wirkung der Maschine verschwand der negative Büschel, so daſs das Drathende dunkel blieb, während der positive Büschel durch das Glimmen ersetzt wurde.

679 Die vorangehenden Versuche lehren, daſs der positive Büschel sich leichter bildet, als der negative. Dies läſst sich am einfachsten an einer feinen nicht isolirten Spitze zeigen, die der runden Oberfläche des Conductors genähert wird. Bei positiver Elektrisirung des Conductors erscheint sowol bei gröſserer, als kleinerer Entfernung kein Büschel an der Spitze, sondern ein leuchtender Punkt; bei negativer Elektrisirung ist nur in gröſserer Entfernung der Punkt sichtbar, der bei der Annäherung der Spitze an den Conductor durch den Büschel ersetzt wird. Man hat diese Erscheinung früher häufig als Unterscheidungszeichen der beiden Elektricitäten benutzt; sie ist hierzu nur mit Vorsicht anzuwenden, weil bei groſser Feinheit der Spitze oder bedeutender Stärke der Elektrisirung der Büschel bei beiden Elektricitäten ausbleibt. Die Ausdehnung des positiven und negativen Büschels ist nach der Gasart verschieden, in der die elektrische Ausströmung geschieht. Fa-

raday [1]) fand den positiven Büschel fast in allen Gasen grö- [679]
fser, als den negativen. Am gröfsten war der positive Büschel in Stickgas und Luft, geringer in Kohlensäure, Salzsäure- und Steinkohlengas, am kleinsten, und dem negativen gleich, in Sauerstoffgas. Der negative Büschel erschien weniger veränderlich, und in allen Gasen fast von gleicher Ausdehnung.

Das Glimmen.

680 Das Glimmlicht oder Glimmen besteht in einem geräuschlosen Leuchten der Fläche, an welcher die Ausströmung der Elektricität im höchsten Maafse erfolgt. Es ist an ausgedehnten Flächen, am leichtesten jedoch an Spitzen zu erregen, daher es auch mit den Namen Spitzenlicht und Stern belegt worden ist. Setzt man eine Spitze auf den Conductor, oder nähert ihm oder der elektrisirten Scheibe der Maschine eine Spitze, so sieht man an dieser im Dunkeln das Glimmen als leuchtenden Punkt. An einer Kugel wird das Glimmen leicht in verdünnter Luft oder dadurch hervorgebracht, dafs man der Kugel eine abgestumpfte Spitze bis zu einer bestimmten Entfernung nähert, welcher Versuch bereits früher angeführt worden ist (§. 672.). Die Erscheinung entsteht in Gasen ebenso leicht, wie in Luft; um ihre Bedingungen zu übersehen, müssen wir ihre Entstehung in Bezug zu der der anderen Lichterscheinungen betrachten. Das elektrische Licht begleitet die discontinuirliche Entladung in einem luftförmigen Medium. Nimmt die ganze Luftsäule, die in einen starren Schliefsungsbogen eingeschaltet ist, an der Entladung Theil, so entsteht ein Funke oder Büschel, der sich von der einen Endfläche der Säule zur andern fortpflanzt. Dabei erfährt die Luftmasse jene chemischen Aenderungen, welche das Auftreten des Ozons, der Salpetersäure bedingen. Dieser Fall ist ganz analog der Entladung durch einen dünnen Drath, der dabei verbogen, glühend u. s. w. wird, der Unterschied der Wirkung wird durch die Luftform der durchbrochenen Strecke

[1]) *Exper. research.* al. 1476.

[680] erklärt. Ganz verschieden ist aber der Fall, wo die Entladung nur ein kleines Stück der Luftsäule ergreift, und die fernere Ableitung der angesammelten Elektricität durch eine mechanische Operation bewirkt wird. Man kann sich dies so deutlich machen. Ein elektrisirter Leiter, der durch einen Drath mit der Erde verbunden wird, verliert seine Elektricität durch vollständige Entladung; berühren wir ihn hingegen mit einer Menge isolirter Kugeln, die wir nach der Berührung entfernen, so verliert er seine Elektricität durch die zusammengesetzte Operation der Entladung an die Kugeln und der mechanischen Entfernung der Kugeln. In ähnlicher Weise kann die discontinuirliche Entladung sich in einen gröſsern oder geringern Theil der in den Schlieſsungsbogen eingeschalteten Luftschicht erstrecken, und die elektrisirten Lufttheilchen können durch elektrische Abstoſsung entfernt werden. Bei diesem Vorgange entsteht eine von den beiden Lichterscheinungen: der Büschel oder das Glimmen; der Büschel, wenn die von der Entladung ergriffene Luftstrecke groſs ist, das Glimmen, wenn sie eine sehr geringe Dicke hat. Der Büschel ist auch bei der normalen Entladungsart vorgekommen, seine Erscheinung ist also nicht nothwendig mit einer mechanischen Entfernung elektrisirter Lufttheilchen verbunden; bei dem Glimmen hingegen findet diese Entfernung in allen Fällen statt.

681 Hiernach lassen sich die Umstände bestimmen, durch welche das Glimmen befördert wird. Dies geschieht zuvörderst durch Vermehrung der elektrischen Dichtigkeit einer Stelle des elektrischen Leiters, weil die Luft, wie alle Isolatoren, nur durch Elektricität von groſser Dichtigkeit augenblicklich elektrisirt wird. Diese Vermehrung der Dichtigkeit kann durch gesteigerte Elektricitätsmenge, die dem Leiter zugeführt wird, oder durch eine der Dichtigkeit günstige Form oder Stellung des Leiters erreicht werden. Faraday sah an dem zugerundeten Ende eines Conductors Büschel, wenn die Elektrisirmaschine schwach wirkte, Glimmen, wenn sie in bestem Stande war. An einem Drathe von 0,3 Zoll Dicke konnte das Glimmen nur zuweilen, leichter an einem Drathe von 0,2 Zoll Dicke, am leichtesten an einer feinen Spitze hervorgebracht werden.

Eine Metallkugel am Conductor, die für sich keine Lichterscheinung giebt, zeigt das Glimmen, wenn ihr eine Spitze genähert wird, welche die elektrische Dichtigkeit an der nächsten Stelle der Kugelfläche vermehrt (§. 672.). Ferner wird das Glimmen begünstigt durch Förderung der Fortbewegung der elektrisirten Lufttheilchen. Faraday blies durch eine Glasröhre auf eine elektrisirte Metallkugel, und sah das Glimmen an der Stelle, wo der Luftstrom die Oberfläche der Kugel traf. Verdünnung der Luft befördert das Glimmen, indem sie die Bewegung der Lufttheilchen erleichtert. Eine $2\frac{1}{2}$ Zoll dicke Messingkugel in einer Glasglocke positiv elektrisirt, in der der Luftdruck 4,4 Zoll betrug, wurde auf einem Flächenraume von 2 Zoll Durchmesser mit glimmendem Lichte bedeckt. Eine Kugel von $1\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser, der eine negativ elektrische Spitze nahe stand, wurde unter der evacuirten Glocke fast ganz mit Licht bekleidet, das sich, gleich einer Flamme, in die Höhe richtete [1]). [681]

682 Nach der in §. 680 gegebenen Erläuterung kann man das Glimmlicht als einen sehr kurzen Büschel ansehen, der sich allein in der niedrigen Luftschicht bildet, die an der Oberfläche jedes Körpers verdichtet wird. Bringt man eine Kugel, die in Luft von gewöhnlicher Dichte glimmt, in einen Ballon mit verdichteter Luft, so giebt sie Büschel; eine Kugel hingegen, die Büschel giebt, zeigt in verdünnter Luft das Glimmen. Die Eigenthümlichkeit der positiven Elektricität, leichter Büschel zu bilden, als die negative, ist oben (§. 679.) erwähnt worden; ebenso ist in Luft von gewöhnlicher Dichte das Glimmen mit positiver Elektricität leichter zu erhalten, als mit negativer. Faraday konnte an Stäben von 0,3 Zoll Dicke in freier Luft mit negativer Elektricität das Glimmen nicht mehr hervorbringen, während es in verdünnter Luft selbst an Kugeln leicht zu Stande kam. Ich werde bei den elektrischen Staubfiguren (§. 751.) auf dies merkwürdige Verhalten beider Elektricitätsarten zurückkommen, das in mehrfacher Beziehung räthselhaft ist, und bemerke hier nur, daſs es nicht erklärt wird durch die Annahme eines ungleichen Leitungs-

[1]) *Exper. research.* al.* 1527. 28. 79. 29.

[682] vermögens der Luft für beide Elektricitäten, eine Annahme, die aufserdem directen Versuchen widerspricht (§. 99.).

683 Büschel und Glimmen gehen leicht in einander über, und sind zuweilen an nahe gelegenen Stellen eines Leiters gleichzeitig vorhanden. Oft nimmt der Büschel die Funkenform an, indem er einzelne momentan aufleuchtende Strahlen aussendet und so ein verästeltes Ansehen gewinnt. Die Wandelbarkeit des elektrischen Lichtes läfst sich aus dem folgenden Versuche entnehmen. Nicholson [1]) verband eine Metallkugel von 0,4 Zoll Durchmesser mit dem positiven Conductor einer Cylindermaschine. Bei mäfsigem Drehen des Cylinders ging von der Kugel ein 2 Zoll langer dichter Lichtbüschel aus, der bei stärkerem Drehen verschwand, während die eine Hälfte der Kugel leuchtend wurde. Bei der stärksten Elektrisirung traten einzelne Strahlen momentan aus der leuchtenden Fläche hervor. Bei Anwendung 3zölliger Kugeln gingen die Büschel von drei oder vier Stämmen zugleich aus, konnten aber nicht durch gesteigertes Drehen der Maschine zum Verschwinden gebracht werden. Dies gelang durch Entgegenstellen einer Spitze. Befand sich die Spitze in gröfserer Entfernung vom Büschel, so wurde der Stamm des Büschels an der Oberfläche der Kugel von einem hellen Kreise wallenden Lichtes umgeben. Wurde die Spitze näher gebracht, so verschwanden die Büschel, und es blieb ein glänzender Fleck auf der Kugel, der zuweilen still stand, zuweilen in Bewegung gerieth. Bei noch gröfserer Näherung der Spitze sprühten aus diesem Flecke verästelte Funken in Gestalt eines entblätterten Baumes, und zugleich erschien ein leckender leuchtender Kreis auf der Kugel. Der glänzende Fleck war nicht im Mittelpunkte dieses Kreises, sondern schwankte von einer Seite desselben zu der anderen.

684 Die elektrischen Lichterscheinungen, die ich bisher, an Metall hervorgebracht, beschrieben habe, erscheinen in gleicher Weise an weniger vollkommenen Leitern. Sie lassen sich leicht an Flüssigkeiten, an Holz, Eis, Glas u. s. w. hervorbringen, wenn man diese Körper in gehöriger Weise mit dem elek-

---

[1]) Gilbert Annalen d. Phys.* 34. 106.

trisirten Conductor einer Maschine in Verbindung setzt. Das [684] gröſste Erstaunen erweckten bei ihrer Entdeckung die elektrischen Lichterscheinungen am menschlichen Körper. Du Fay[1]) sah und fühlte zuerst Funken aus seinem eigenen Körper hervorbrechen, als er auf einem, durch seidene Schnüre isolirten Brette saſs, und ihm eine geriebene Glasröhre genähert wurde. Hausen[2]), dem wir eine strenge Sonderung der drei Lichterscheinungen verdanken, bemerkte den Büschel an den Fingern eines in Seidenschnüren horizontal hängenden Mädchens, und das Glimmen an den Absätzen eines in gleicher Weise isolirten Knaben. Diese Versuche sind bis zum Ueberdrusse wiederholt worden, ohne wissenschaftlich genützt zu haben. Wie die durch Mittheilung oder Influenz, so zeigen auch die durch Reibung elektrisirten Körper Lichterscheinungen. Otto von Guericke[3]) hat zuerst an einer mit der Hand geriebenen Schwefelkugel Licht gesehen, gleich dem an Zucker, wenn er zerschlagen wird, und Hauksbee[4]) sah einen Lichtschein der Hand folgen, die im Finstern eine Glasröhre rieb. Der Letztere sah dabei den ersten Funken, der an die andere Hand fuhr mit einem Geräusche, als ob ein grünes Blatt ins Feuer geworfen würde. Wurde die Hand der Röhre nicht bis zur Berührung genähert, so sah er ein Licht, das sich an der Hand festsetzte (Glimmen). Der Büschel entsteht schwer an geriebenen Körpern, da an diesen die Elektricität entweder glimmend ausströmt, oder über die Oberfläche in kleinen Funken hinblitzt. Gray[5]) hat den Büschel zuerst an einer Eisenstange hervorgebracht, an deren Ende eine geriebene Glasröhre angelegt war. — So wenig auffallend die Lichterscheinungen der geriebenen Körper in der Luft sind, so überraschend sind sie, wenn sie im luftverdünnten Raume hervorgebracht werden.

---

[1]) *Mém. de l'acad. de Paris* 1733. — *éd. in*-12* 355. [2]) *Novi profectus in historia electricit.* Lips.* 1743. 16. [3]) *Experimenta magdeburg.* Amstel.* 1672. 149. [4]) *Philos. transact.* 1706. — *abridg.* 5. 324. [5]) *Philos. transact.* 1735. — *abridg.** 8. 3.

Lichterscheinungen im luftverdünnten Raume.

685 Die elektrischen Lichterscheinungen nehmen in verdünnter Luft eine gemeinschaftliche Beschaffenheit an, die sie dem Glimmen nahe bringt. Der Funke nimmt an Umfang zu und zeigt, statt eines glänzenden Lichtstreifens, ein massenhaftes Licht, der Büschel wird geräuschlos und weitgestreckt, das Glimmen tritt in gröſserer Ausdehnung auf und löst sich von dem elektrisirten Körper ab. Man erhält die verschiedenen Erscheinungen in einer weiten Glasröhre, deren Enden mit Metallfassungen geschlossen sind, von welchen drathförmige Fortsätze in die Röhre reichen und einander beliebig genähert werden können, nachdem die Luft im Innern der Röhre verdünnt worden ist. Watson[1]) brauchte ein 3 Fuſs langes, 3 Zoll weites Glasrohr, auf das an beiden Enden Metallfassungen aufgeschraubt waren. Die eine (untere) Fassung hatte als Fortsatz einen 8 Zoll langen, ins Innere der Röhre reichenden Drath, die obere war mit einer Stopfbüchse (eine Säule durchbohrter, in Oel getränkter Lederscheiben) versehen, durch welche ein langer Drath luftdicht hindurchging, dessen Ende mit dem unteren Drathe zur Berührung gebracht werden konnte. Die einander gegenüberstehenden Drathenden waren mit kleinen Metallscheiben geschlossen. Die Glasröhre wurde auf eine Luftpumpe gesetzt und die Luft in ihr verdünnt. Wenn die Entfernung der Drathenden im Innern der Röhre nicht über 10 Zoll betrug, konnte eine leydener Flasche dadurch instantan entladen werden, daſs die Metallfassungen der Röhre in die Schlieſsung der Flasche eingeschaltet wurden. Bei der Entladung ging ein glänzender Feuerklumpen in der Röhre über. Bei gröſserer Entfernung der Drathenden divergirte das übergehende Licht, und die Flasche wurde nur allmälig entladen. Im letzten Falle war es ein Büschel, der die Flasche entlud.

686 Deutlicher konnte der Büschel erhalten werden, wenn der obere Drath der Röhre mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine verbunden, der untere zur Erde abgeleitet wurde.

---

[1]) *Philos. transact.* 1751. 362. — *abridg.** 10. 238.

Hier entstand der Büschel bei der gröfsten Entfernung, die [686] den Drathenden in der Röhre gegeben werden konnte. Die Strahlen des Büschels, die in der Luft höchstens 2 Zoll lang waren, nahmen im verdünnten Raume die Länge von 32 Zoll an, und zeigten eine glänzende Silberfarbe. Die Strahlen divergirten nicht, wie in Luft, dicht an der Ausströmungsstelle, sondern theilten sich erst in einiger Entfernung davon in feine Aeste. Oft ging das Licht ohne Verästelung in einem breiten Strome durch die Röhre. Derselbe Versuch wurde in dem Doppelbarometer des Lord Charles Cavendish angestellt. Eine $7\frac{1}{2}$ Fufs lange, $\frac{8}{10}$ Zoll weite, an beiden Enden offene Glasröhre war parabelförmig gebogen und wurde, mit Quecksilber gefüllt, vertical aufgerichtet, indem die offenen Enden in mit Quecksilber gefüllte Gefäfse tauchten. Es entstand so an dem Scheitel der Parabel ein leerer Raum von 30 Zoll Länge. Das eine Quecksilbergefäfs wurde mit dem Conductor der Elektrisirmaschine, das andere mit der Erde verbunden; bei dem Spiele der Maschine ging ein leckendes Feuer ohne merkliche Divergenz durch den leeren Raum. Es ist früher (§. 34.) bemerkt worden, dafs die Elektricität durch ein vollständiges Vacuum nicht hindurchgeht, und dafs in einem, auf die beschriebene Weise hergestellten, Doppelbarometer nur ein mit wenig Luft erfüllter Raum erzeugt worden ist. — Faraday [1]) hat die Veränderung des elektrischen Lichtes zwischen zwei Leitern in einer Glaskugel, in der die Luft successiv verdünnt wurde, in folgender Weise beschrieben. Die zuerst übergehenden Funken werden in Büschel verwandelt, die allmälig breiter und bestimmter in ihren Verästelungen werden, bis diese zusammenfliefsen und einen einzigen breiten Lichtstrom zwischen beiden Leitern bilden. Von diesem Strome gehen dann seitlich Nebenäste nach den Wänden der Glaskugel, die an Breite und Fülle zunehmen; auf demjenigen von beiden Leitern, der zur Erde abgeleitet ist, tritt zuletzt ein continuirliches Glimmen auf. Die Steigerung der Erscheinung ist nach der Form des Glasgefäfses und der Ergiebigkeit der Maschine etwas verschieden.

---

[1]) *Exper. research.* al.* 1455.

687 Die Luftverdünnung befördert das Glimmen, das sich dabei ohne weitere Hülfe an gröſseren Flächen hervorbringen läſst (§. 681.). Bei der Gegenüberstellung zweier Leiter im luftverdünnten Raume hat Faraday[1]) folgende Eigenthümlichkeit bemerkt. In einer hohlen Glaskugel waren zwei, 0,3 Zoll dicke, Messingstäbe diametral einander gegenübergestellt, die luftdicht einander genähert werden konnten. Die Kugel wurde exantlirt, der eine Messingstab mit dem positiven Conductor der Maschine, der andere mit der Erde verbunden. Als die anfangs einander berührenden Stäbe von einander entfernt wurden, entstand an dem Ende des negativen (abgeleiteten) Stabes ein fortdauerndes Glimmen, während das Ende des positiven Stabes dunkel blieb. Bei gröſserer Entfernung entstand am positiven Stabe ein purpurner Lichtstreifen, der sich dem negativen Stabe desto mehr näherte, je weiter die Stäbe auseinander gerückt wurden, ihn aber nicht erreichte. So blieb zwischen den Lichterscheinungen beider Stäbe ein dunkler Raum, $\frac{1}{16}$ bis $\frac{1}{26}$ Zoll lang, der seine Lage gegen das negative Ende unveränderlich beibehielt (Fig. 131.). Dieselbe Erscheinung trat ein, wenn der negative Stab, statt abgeleitet zu sein, mit dem negativen Conductor der Maschine verbunden wurde, und der positive Stab eine Ableitung erhielt. Das negative Glimmen und ihm zunächst der dunkle Raum blieb ungeändert, während der positive Lichtstreifen mit der Entfernung der Stäbe zu- und abnahm. Der Versuch gelang in gleicher Weise mit zwei Kugeln, welche die Endigungen der beiden Metallstäbe bildeten, nur war hier der positive Lichtstreifen breiter, und endigte gegen die negative glimmende Kugel mit einer concaven Oberfläche. Eine merkwürdige Aenderung dieser Erscheinung hat de la Rive[2]) hervorgebracht durch Magnetisirung des Leiters, an dem das Licht erscheint. In einen Glasballon, in welchem die Luft verdünnt war, wurden, von einander isolirt, ein cylindrischer Stab aus weichem Eisen und ein Kupferstab eingekittet, und der eine mit dem Conductor, der andere mit dem Reibzeuge einer Elektrisirmaschine ver-

---

[1]) *Exper. research.* al.* 1544 *fll.*
[2]) *Compt. rend. de l'acad.** 29. 412.

bunden. Als an das aufserhalb des Ballons stehende Ende [687] des Eisenstabes ein Pol eines starken Elektromagnets angelegt war, bildete sich an dem andern Ende des Stabes ein Lichtring, der um den Stab rotirte, nach der einen oder andern Richtung, je nach der Richtung der elektrischen Entladung oder des angelegten magnetischen Pols.

688 In verdünnten Dämpfen wird das elektrische Licht verschieden gefärbt. Davy [1]) gebrauchte eine zweischenklige Glasröhre (Fig. 11.), die an einem Ende zugeschmelzt, an dem anderen mit einem Hahne und einer biegsamen Röhre versehen war, die zu einer Luftpumpe führte. In dem verschlossenen Ende der Glasröhre war ein Platindrath eingeschmelzt. Der lange Schenkel wurde mit einer flüssigen Substanz gefüllt, die Luft in dem kurzen Schenkel verdünnt, so dafs bei *B* ein beliebig langer luftleerer Raum entstand, der mit Dämpfen unter geringem Drucke erfüllt war. Es wurde zuerst Quecksilber in die Röhre gebracht, sorgfältig ausgekocht, und, während es noch heifs war, der leere Raum hergestellt. Elektricität, die an dem Platindrathe angebracht wurde, ging durch den Raum mit glänzendem grünen Lichte, das an Helle abnahm, je mehr die Röhre abkühlte und je weniger Dämpfe daher darin enthalten waren. Bei künstlicher Erkältung der Röhre bis — 23° R. war das elektrische Licht schwer sichtbar. Wurde Luft in steigendem Verhältnisse zu den Quecksilberdämpfen hinzugelassen, so ging die grüne Farbe des Lichtes in Meergrün, Blau und Purpur über. Durch den, über schmelzendem Zinne gebildeten, leeren Raum ging die Elektricität mit sehr schwachem gelben Lichte. Als der Versuch mit kochendem Baumöle angestellt wurde, erschien das Licht roth, in den Dämpfen des Chlorantimons rein weifs, und war in beiden Fällen viel heller, als in dem Quecksilberdampfe.

689 Die auffallendsten Erscheinungen zeigt das elektrische Licht im luftverdünnten Raume, wenn es von Elektricität herrührt, die durch Reibung oder Influenz erzeugt wird. Es ist unter dieser Bedingung zuerst, und zwar zu einer Zeit gesehen worden, wo noch wenige elektrische Erfahrungen vor-

[1]) Gilbert Annalen* 72. 362.

[1689] lagen. Ich will aus der grofsen Menge der darüber veröffentlichten Arbeiten die interessantesten und auf die Elektricitätslehre einflufsreichsten anführen. Der Astronom Picard in Paris hatte 1675 an einem Barometer, das er in der Nacht von dem *observatoire* nach der *porte St. Michel* tragen liefs, und dessen Quecksilber dadurch in Schwanken kam, ein Leuchten bemerkt, das in dem leeren Raume bei dem jedesmaligen Sinken des Quecksilbers eintrat[1]). Als nach dem Tode Picard's sein Barometer von de la Hire entleert und neu gefüllt wurde, blieb das Leuchten aus, kehrte nach einiger Zeit wieder, und verschwand dann ohne angebbare Ursache. Die Erscheinung wurde zwar danach von Sebastien und Cassini an anderen Barometern bemerkt, aber ohne dafs ihre Ursache und die Regel gefunden wurde, ein solches leuchtendes Barometer anzufertigen. Beides glaubte der Mathematiker Johannes Bernoulli in Gröningen, in einem am 19. Juni 1700 an Varignon in Paris gerichteten Briefe angegeben zu haben[2]). Der Grund des Leuchtens sollte in dem Quecksilber und in dem in ihm enthaltenen ersten Elemente liegen, die Verfertigung des Barometers nur eine reine Oberfläche des Metalles bezwecken, und deshalb durch Aufsaugen des Quecksilbers in die Röhre geschehen. Aber die Verfertigung des leuchtenden Barometers gelang in Paris nicht. Bernoulli schrieb einen zweiten Brief am 6. Novbr. 1700[3]), in welchem die Geschicklichkeit und Lungenstärke der pariser Akademiker in Zweifel gezogen, und die Erfindung eines neuen tragbaren und immerwährenden Phosphors angezeigt wird. Dieser besteht in einer versiegelten, mit 5 bis 6 Unzen Quecksilber gefüllten, Glasflasche, in der die Luft durch eine Pumpe verdünnt worden, und die beim Schütteln im Finstern leuchtet. Man sieht, dafs dieser Phosphor sich nicht von dem leuchtenden Barometer unterscheidet, in dessen leerem Raume, wie man sehr wohl wufste, nach der damaligen Bereitung noch etwas Luft vorhanden war. Dennoch behauptet

---

[1]) Die bekannteste Nachricht davon in einem anonymen Tractat über Barometer und Thermometer, und daraus in *Weidler de phosphoro mercuriali.** *Vitemb.* 1715. 2. Ausführlicher in *mémoires anciens de l'acad.** 2. 202. [2]) *Mém. de l'acad. de Paris* 1700. — *éd. in* -12* 280. [3]) *Mém. de l'acad. de Paris* 1701* 1.

Bernoulli [1]), dafs diese Erfindung nicht, wie die meisten [689] anderen Entdeckungen, das blinde Glück, sondern die Vernunft selbst zur Mutter gehabt habe, und Leibnitz übergab den neuen Phosphor 1702 dem Könige Friedrich I. von Preufsen, und erwirkte dafür eine goldene Denkmünze von 40 Dukaten Werth, die den Empfänger zu einem noch vorhandenen Gedichte begeisterte [2]). Es ist nicht bekannt, dafs Bernoulli seine wirklich grofsen mathematischen Entdeckungen je königlich belohnt gesehen oder durch ein Gedicht gefeiert hat. Der pariser Chemiker Homberg hatte die mifslungenen Versuche in der Akademie durch die Vermuthung erklärt, dafs sich Bernoulli eines unreinen, mit brennbarem Stoffe vermischten, Quecksilbers bedient habe, und dadurch das Leuchten entstanden sei. Hiergegen schrieb Bernoulli seinen dritten Brief [3]) am 5. Juli 1701, in welchem er behauptet, dafs jedes Quecksilber leuchte, wenn es nicht durch eine zufällige Ursache daran verhindert werde, dafs das reinste zum Phosphor am besten tauge, dafs das Quecksilber an sich leuchtend sei, wie die Sonne, deren Licht uns auch durch eine Finsternifs oder andere Ursache entzogen werden kann.

Der Mercurial-Phosphor, wie die mit Quecksilber gefüllte 690 Flasche genannt wurde, erregte viel Interesse, und Hauksbee [4]) stellte im Jahre 1705 darüber vor der *royal society* Versuche an, in welchen Quecksilber theils in der Luft, theils im luftverdünnten Raume gegen Glas gerieben, Licht hervorbrachte. Die schönste Erscheinung erhielt er in folgender Weise. Eine 17 Zoll hohe schlanke Glasglocke wurde unter einer gröfseren, an der Wölbung durchbohrten, Glocke auf den Teller der Luftpumpe gestellt. In die Oeffnung der äufseren Glocke war ein Trichter eingesetzt, dessen Hals in eine Capillar-Röhre endigte, die dicht über der Wölbung der inneren Glocke stand. Der Trichter wurde mit einem Holzpfropfen verstopft und mit $1\frac{1}{2}$ Pfund Quecksilber gefüllt. Als die Luft unter der äufseren Glocke verdünnt, und der Pfropfen gezogen

---

[1]) *De mercurio lucente in vacuo Basil.* 1719. *Bernoulli opera omnia* Lausan.* 1742. 2. 366. [2]) *Leibnit. et Bernoulli commercium philosophic.* Lausan.* 1745 2. 86—91, das Gedicht S. 90. [3]) *Mém. de l'acad. de Paris* 1701. — *éd. in -12.** 178. [4]) *Philos. transact.* 1705. — *abridg.** 5. 254.

[690] war, strömte das Quecksilber aus und traf mit grofser Gewalt die Wölbung und Seiten der inneren Glocke; es entstand hierdurch ein lebhafter Feuerregen, und zugleich gingen horizontale, einander seltsam durchkreuzende, Blitze von der inneren Glasglocke aus. In demselben Jahre rieb Hauksbee Bernstein und Glas im luftverdünnten Raume gegen Wolle, und sah dadurch ein schwaches Licht entstehen; aber erst in dem folgenden Jahre 1706 wagte er, jene Versuche mit Quecksilber der Reibung des Glases zuzuschreiben. Man könnte, sagte er [1]), mit einiger Wahrscheinlichkeit schliefsen, dafs das Licht in dem Quecksilberversuche von einer Eigenschaft des Glases herrühre, die ihm durch die Reibung gegeben wird, und dafs dem Quecksilber nur die Bedeutung beizulegen sei eines zum Reiben des Glases geeigneten Körpers. Diese Meinung werde durch die Erfahrung unterstützt, dafs der leere Raum eines Barometers leuchtet, wenn man die ihn umgebende Glasröhre mit dem Finger reibt. Doch sei es zweifelhaft, ob nicht auch dem Quecksilber, wie dem Glase, eine leuchtende Eigenschaft inwohne. Wenige Monate später machte Hauksbee seine schöne Arbeit bekannt [2]), in welcher die leuchtenden und elektrischen Erscheinungen einer geriebenen Glasröhre auf das Klarste dargelegt werden. Wahrscheinlich in der Absicht, die Beweiskraft dieser Versuche zu schwächen, stellte Bernoulli [3]) einige Versuche an über das Licht bei der Reibung harter Körper gegen einander, unter welchen, seltsamer Weise, Glas gegen Amalgam gerieben vorkommt. Er blieb bei der Meinung, das Licht seines Phosphors dem, aus dem Quecksilber tretenden, ersten Elemente zuzuschreiben, und stellte der Meinung Hauksbee's, dafs die Reibung dabei wirke, einen spöttischen, hochfahrenden Ton und Gegengründe gegenüber, die seinen sonst bewährten Scharfsinn nicht verrathen [4]). Es würde in hohem Grade auffallen, wie lange nach Hauksbee's Versuchen die Ansicht Bernoulli's noch Geltung behalten konnte, wenn es nicht öfter vorgekommen wäre, dafs die Unfehlbarkeit des grofsen Mathematikers in An-

---

[1]) *Philos. transact.* 1706. — *abridg.** 5. 308. [2]) *Philos. transact.* 1706. — *abridg.** 5. 324. [3]) *Histoire de l'acad. de Paris* 1707* 1. [4]) *Opera omnia** 2. 383.

spruch genommen und, leichtsinnig genug, zugestanden wird [690] bei Fragen, die allein auf empirischem Wege zu lösen sind. Nur so ist es erklärlich, dafs aufser von vielen Anderen, von Mairan 1717, von Du Fay 1723, die Erklärung Bernoulli's vertheidigt, die Abhandlung des Erstgenannten sogar von der Akademie in Bordeaux gekrönt werden konnte. Selbst als Hamberger 1741 [1]) erfahren hatte, dafs das den leeren Raum umgebende Glas, während das Barometer leuchtet, leichte Körper anzieht, wurde die widersinnige Annahme einer Luftströmung nach der Leere hin der Wahrheit vorgezogen, und erst Ludolff [2]) drang 1743 damit durch, die Erscheinung als eine rein elektrische zur Anerkennung zu bringen, indem er den oberen Theil eines Barometers mit einer Glashülle umgab, die Luft in dieser Hülle verdünnte, und die Anziehung darin aufgehängter Fäden wahrnahm, wenn das Quecksilber durch Saugen an dem Gefäfse des Barometers zum Schwanken gebracht wurde.

691 Elektricität, die in einem leeren Raume durch Reiben erzeugt wird, verbreitet sich mit glimmender Entladung; sind noch Lufttheile oder Dämpfe in dem Raume vorhanden, durch diesen selbst, ist der Raum gänzlich leer, auf der Oberfläche des Glases. Die letztere Verbreitung geschieht nur unter der Bedingung, dafs das Glas bis zu einem gewissen Grade leitend sei. Ferner wird durch Reiben des Glases durch Quecksilber nicht immer Elektricität erregt; wir werden später sehen, dafs die Art der erregten Elektricität von zufälligen Umständen abhängt, und die normale Erregung vollkommene Reinheit der Oberfläche des Glases und Quecksilbers verlangt. Hieraus folgt, dafs das Leuchten des Barometers auch bei günstiger Beschaffenheit des Glases von Umständen abhängt, die nicht in der Hand des Verfertigers liegen, und die Erfahrung De Lucs [3]) wird erklärlich, dafs das Leuchten weder das Kennzeichen eines guten, noch das eines schlechten Barometers sei. Das Erste hatte Du Fay, das Zweite Musschenbroek behauptet. Von vier luftleeren Glasröhren, die ich in

[1]) *Hamberger elementa physices* §. 576.
[2]) *Mém. de l'acad. de Berlin** 1745. 4.
[3]) Untersuchungen üb. d. Atmosphäre.* Leipz. 1776. 1. 95.

[691] gleicher Weise aus demselben Materiale verfertigen liefs, wurden nur zwei durch Bewegung des darin enthaltenen Quecksilbers leuchtend. Eine solche Röhre, 27 Zoll lang, 3 Lin. weit, enthielt ungefähr 1 Zoll Quecksilber. Liefs ich durch sanfte Neigung der Röhre das Quecksilber hin und her gleiten, so sah ich in einem mäfsig finsteren Zimmer einen leuchtenden Nebel dem Quecksilber folgen. Bei plötzlicher Senkung der Röhre nach einer Seite zuckte ein heller Blitz durch die ganze Länge der Röhre. Diese Röhren, die auch zu den folgenden Versuchen gebraucht werden, sind am besten in folgender Weise zu verfertigen. Ein an einem Ende zugeschmelztes Glasrohr wird an dem andern Ende zusammengezogen, und mit diesem Ende an eine offene Barometerröhre unter einem stumpfen Winkel angesetzt. Man füllt beide Röhren mit reinem Quecksilber, und erhitzt dies, indem man von dem unteren (verschlossenen) Ende der Röhre zu dem offenen mit der Erhitzung allmälig fortschreitet. Hat man hierdurch die in dem Quecksilber enthaltene Luft entfernt, so verschliefst man das offene Ende der Barometerröhre mit dem Finger, taucht es in ein Gefäfs mit Quecksilber, und hebt die Barometerröhre langsam in die Höhe, so dafs die angeschmelzte Röhre fast ganz vom Quecksilber verlassen wird. Das zusammengezogene Ende dieser Röhre wird alsdann durch eine Stichflamme zugeschmelzt, und die Röhre von dem Barometerrohre gelöst. Das zuletzt zugeschmelzte Ende erhält bei den Versuchen leicht Sprünge, und mufs deshalb mit einer luftdicht aufgekitteten Metallhülse bedeckt werden.

692 Eine schöne Erscheinung giebt die Influenzelektricität im luftverdünnten Raume. Hauksbee [1]) befestigte eine hohle Glaskugel von 9 Zoll Durchmesser, nachdem sie exantlirt war, an einer horizontalen Axe und liefs sie mittels Rad und Schnur rotiren. Durch Anlegung der Hand an die Kugel erschien diese mit einem so hellen Lichte angefüllt, dafs eine Druckschrift dabei gelesen, und die 10 Fufs entfernte Wand des Zimmers erkannt werden konnte. Das Licht war von Purpurfarbe und erschien noch, als $\frac{1}{4}$ der Luft in der Kugel zurückgeblieben war.

---

[1]) *Philos. transact.* 1706. — *abridg.** 5. 308.

[692] Man sieht leicht, daſs die äuſsere Oberfläche der Kugel durch die Hand positiv elektrisirt wurde, und dadurch an der innern Fläche die beiden Influenzelektricitäten auftraten, von welchen die (hier positive) zweite Art sich durch den verdünnten Raum entlud und das Licht hervorbrachte. Daſs diese Lichtentwikkelung genau an den entsprechenden inneren Stellen des Glases geschah, an welchen auſsen die elektrische Erregung stattfand, zeigten die folgenden Versuche, die zur Zeit, als ihr Mechanismus noch nicht bekannt war, groſses Erstaunen erregten. Als nämlich Hauksbee [1]) die innere Fläche der Glaskugel, mit Ausnahme der Polflächen, mit einer dicken Schicht von Siegellack, Pech, oder Schwefel bekleidete und den frühern Versuch wiederholte, wurden durch die unbedeckte Glasfläche im Lichte die Umrisse der reibenden Hand auf der concaven Harzfläche deutlich erkannt. Auch in anderer Weise brachte Hauksbee [2]) die leuchtende Influenzelektricität hervor, indem er eine exantlirte Glaskugel oder Röhre in die Nähe eines elektrisirten Körpers brachte.

693 Diese Versuche lassen sich leicht an einer luftleeren Glasröhre (§. 691.) wiederholen. Zieht man eine solche Röhre im Dunkeln schnell durch die trockenen Finger, so folgt ein heller Lichtstreifen der Bewegung, nähert man das eine Ende der Röhre dem geladenen Conductor einer Elektrisirmaschine, so geht ein Lichtstrom durch die Röhre, der bei der Entfernung vom Conductor wieder erscheint. Schöner und complicirter wird der Versuch, wenn ein Ende der Röhre an den Conductor angelegt wird oder Funken von ihm erhält. Es geht dann ein breiter wallender Lichtstrom durch die Röhre; entfernt man sie, so zucken noch lange einzelne Blitze durch die Röhre und werden allmälig immer schwächer. Legt man hingegen das elektrisirte Ende der Röhre an einen neutralen Körper an, so erscheint wieder der helle breite Lichtstrom und dauert einige Sekunden fort. Bei der Berührung dieses Endes mit der freien Hand, so daſs also die Röhre zwischen beiden Händen gehalten wird, erhält man zugleich mit dem

---

[1]) *Philos. transact.* 1708. — *abridg.** 5. 452. 509. 528.
[2]) *Philos. transact.* 1707. — *abridg.** 5. 347.

[693] Lichtstrome eine leichte Erschütterung. Die Erklärung dieses letzten Versuches wird auch die übrigen klar machen. Das an den Conductor angelegte (obere) Ende der Röhre wird durch Mittheilung äufserlich positiv elektrisch, innerlich aber negativ, indem die positive Influenzelektricität leuchtend durch die Röhre nach dem in der Hand gehaltenen (unteren) Ende der Röhre geht. Durch diese positive Elektricität wird die äufsere Fläche des unteren Endes negativ. Man hat also an der Röhre zwei geladene Glasschalen, eine Schale an dem oberen Ende, die äufserlich, eine an dem unteren, die innerlich positive Elektricität im Ueberschusse enthält. Bei der Entfernung der Röhre vom Conductor zerstreut sich die positive Elektricität der oberen Schale in die Luft, oder wird durch Anlegung an einen neutralen Körper abgeleitet, und in beiden Fällen vereinigen sich die entgegengesetzten Elektricitäten der inneren Oberfläche, indem sie leuchtend durch die Röhre gehen. Fafst man beide Enden mit den Händen, so ist der Erfolg so, als ob man zwei Flaschen der Franklin'schen Batterie (§. 363.), die eine an der äufseren, die andere an der inneren Belegung berührte, indem der luftverdünnte Raum im Innern der Röhre die Rolle der Drathverbindung beider Flaschen spielt.

Bewegungen, welche die Lichterscheinung begleiten.

Luftbewegung.

694 Die Bewegung der Luft durch die elektrischen Funken ist §. 550 abgehandelt worden, da sie sich den mechanischen Wirkungen der elektrischen Entladung anschliefst. Ganz verschiedener Art sind die Luftbewegungen, die zugleich mit dem Büschel und dem Glimmen bemerkt werden. Hier fängt die Bewegung erst an der Stelle an, wo die discontinuirliche Entladung aufhört, und wird durch die Abstofsung der elektrisirten Lufttheilchen hervorgebracht (§. 680.). Die Bewegung wird, wenn man die Hand dem Büschel oder einer glimmenden Fläche nahe bringt, als ein kühler Hauch empfunden und

hat den Namen des elektrischen Windes erhalten. Der [694] Luftstrom ist stets von dem leuchtenden Körper abgerichtet. Bei dem Glimmen ist dieser Wind immer vorhanden, bei dem Büschel nur dann, wenn die Strahlen des Büschels keinen leitenden Körper erreichen, wie schon oben bemerkt worden ist (§. 680.). Faraday [1]) richtete eine elektrisch glimmende Spitze gegen eine nicht isolirte Wasserfläche; diese wurde durch den von der Spitze herabgehenden Wind eingedrückt; als aber die Spitze so weit genähert wurde, daſs ein tönender Büschel entstand, wurde das Wasser eben. In einem andern Versuche, wo das Glimmen an einem hängenden Wassertropfen erzeugt wurde, hörte die Eindrückung einer darunter gehaltenen Wasserfläche auf, wenn durch verstärkte Elektrisirung des Tropfens das Glimmen in Büschel und Funken überging. Man pflegt den elektrischen Wind sichtbar zu machen, indem man ihn mechanische Effecte ausführen, eine Lichtflamme zur Seite blasen, aus Kartenblatt oder Rauschgold gefertigte Mühlenflügel umdrehen, Mehlstaub auf Oel, oder *Semen lycopodii* auf Wasser zum Rotiren bringen läſst.

695 Die interessanteste Wirkung des Windes tritt bei dem Spitzenrad auf, das Hamilton [2]) 1760 angegeben hat. Ein gerader, einige Zolle langer Drath, mit zugespitzten, nach entgegengesetzten Seiten umgebogenen Enden, wird mit einem, an seiner Mitte angebrachten, Metallhütchen auf eine feine isolirte Metallspitze aufgesetzt. Man kann auch zwei solche Dräthe einander unter rechtem Winkel kreuzen lassen (Fig. 132.). Führt man dem Stiele durch die daran angebrachte Kette Elektricität zu, so entsteht an den Drathspitzen Glimmen und der elektrische Wind, in Folge dessen der Drath in schnelle rotirende Bewegung kommt, die der Richtung des Windes entgegengesetzt ist. Diese Rotation entsteht durch gegenseitige Abstoſsung der elektrisirten Spitzen und Lufttheilchen. Dieselbe Erscheinung läſst sich an dem folgenden, leichter anzufertigenden Apparate darstellen. Ein, wie früher, mit zugespitzten und umgebogenen Enden versehener Drath ist in der

[1]) *Exper. research.** *al.* 1440. 1584.
[2]) *Philos. transact.* 1760. — *abridg.** 11. 505.

[695] Mitte eines kurzen geraden Drathes befestigt, dessen Enden mit Siegellackknöpfchen bekleidet sind (Fig. 133.). Auf einem Brette sind zwei kurze und zwei lange Glasstäbe befestigt, zwischen welchen dünne Dräthe, einander parallel und gegen den Horizont geneigt, ausgespannt sind. Hat man die Axe des Drathes mit den Spitzen auf die ausgespannten Dräthe so aufgelegt, dafs die obere Spitze nach den kurzen Glasstäben zeigt, so kommt der Drath durch Elektrisirung in schnelle Drehung, und steigt durch diese von dem tiefsten Punkte der Lager zu dem höchsten auf. Diese Instrumente drehen sich nur so lange, als Elektricität frei von den Spitzen ausströmen kann. Cigna [1]) stellte ein Spitzenrad auf einer isolirten Unterlage in einen weiten isolirten Metallkessel; als dem Rade durch einen Drath Elektricität zugeführt wurde, drehte es sich eine Zeitlang fort, bis der Kessel durch die ausgeströmte Elektricität elektrisirt worden war. Cavallo [2]) setzte eine enge Glasglocke über ein Spitzenrad, das fortwährend elektrisirt wurde. Auch hier dauerte die Bewegung des Rades nur kurze Zeit, indem an der inneren Wand der Glocke Elektricität angehäuft wurde, welche die weitere Ausströmung an den Spitzen des Rades hinderte. Wurde die Hand an die äufsere Wand der Glocke angelegt, und dadurch die Wirkung der Elektricität an der inneren Wand geschwächt, so trat wieder eine Drehung des Rades ein. In einem Raume mit verdünnter Luft ist keine Drehung des Rades zu erhalten, weil die Elektricität an den Spitzen nicht die nöthige Dichtigkeit erlangt, und continuirlich leuchtend durch den Raum geht.

696 Der elektrische Wind befördert, wie jede Luftbewegung, die Erkaltung erwärmter Körper und die Verdampfung von Flüssigkeiten. Ein erwärmtes Thermometer erkaltet und eine Wassermasse verdampft schneller, wenn man den elektrischen Wind darauf wirken läfst [3]). Es ist aber nöthig, dafs die bewegten Lufttheilchen das Thermometer und das Wasser treffen, da sonst der Erfolg ausbleibt. Hierdurch lassen sich die widersprechenden Resultate erklären, die von verschiedenen

---

[1]) *Miscellanea taurinensia** 5. 97.
[2]) *Treatise of electr.* Lond.* 1795. 1. 296.
[3]) *Lehot. Giorn. di Fisica VI.* 214. Biot Lehrb. d. Phys. v. Fechner* 2. 322.

Beobachtern über den Einflufs der Elektricität auf die Verdampfung erhalten worden sind. Nollet [1]) füllte zwei Zinnschalen mit verschiedenen Flüssigkeiten und fand, nachdem die eine Schale 5 Stunden lang mit dem Conductor einer thätigen Elektrisirmaschine in Verbindung gestanden hatte, an ihr die Gewichtsabnahme bedeutend gröfser, als an der nicht elektrisirten Schale. Bei Ammoniaklösung wird der Unterschied des Gewichtsverlustes beider Schalen auf 13 Grains angegeben. Beccaria [2]) bestätigte diesen Erfolg in dem Falle, wo die Flüssigkeiten in flachen Schalen standen, nicht aber, wenn sie den Boden eines Bechers bedeckten. Ein Gleiches fand Cavallo. Aber weder Van Marum noch Pfaff [3]) konnten in flachen Schalen eine Vermehrung der Verdampfung durch Elektrisirung wahrnehmen. Peltier [4]) stellte den Versuch in anderer Weise an, durch welche er sichere Resultate erhielt. Ueber einer mit Wasser gefüllten Platinschale wurde eine Metallkugel oder ein Bündel spitzer Dräthe in der Entfernung von $7\frac{1}{2}$ Zoll befestigt. Auf die Platinschale war ein Glasring aufgelegt, um die Wirkung des scharfen Randes auf den elektrisirten Körper zu hindern. Als von dem, bis 80 oder 90° C. erhitzten, Wasser sichtbare Dämpfe aufstiegen, wurde das darüber befestigte Metall durch Verbindung mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine elektrisirt; die Dampfwolke zeigte sich dadurch vergröfsert. Bei geringeren Temperaturen des Wassers war der Einflufs der Elektrisirung geringer, wenn man nicht den elektrisirten Körper dem Wasser viel näher brachte, und bei der Verdampfung durch die Lufttemperatur, wo keine sichtbaren Dämpfe gebildet werden, mufste eine andere Beobachtungsart angewendet werden. Die Temperatur einer Wassermasse nimmt desto mehr ab, je reichlicher die Verdampfung an ihrer Oberfläche stattfindet, und man kann daher die Stärke der Verdampfung an der Temperaturerniedrigung des Wassers erkennen. Peltier construirte aus sechs, in Gestalt eines Dreifufses abwechselnd an einander gelötheten, Antimon- und Wis-

[1]) *Recherches s. l. causes des phen. electr.* 1749. 315. *Peltier observat. s. l. trombes* Brux.* 78. [2]) *Elettricismo artificiale* Tor.* 1772. 274. [3]) Beschreibung einer Elektrisirmaschine* 2te Forts. 37. Gehler Neues phys. Wörterbuch* 3. 289. [4]) *Sur l. trombes** 79.

[696] muthstäbchen eine thermo-elektrische Kette (Fig. 134.), deren Enden *cc* mit dem Drathe des Multiplicators *d* verbunden waren. Die oberen Löthstellen *a* waren so gestellt, daſs sie eine Schale *b*, aus sehr dünnem Glase geblasen, zwischen sich aufnahmen. Durch die freiwillige Verdampfung des, in der Schale befindlichen, Wassers wurden die oberen Löthstellen der Kette kälter als die unteren, und die Magnetnadel des Multiplicators wurde abgelenkt. War die Ablenkung constant geworden, so wurde eine über der Schale aufgehängte Kugel *g* (wirksamer war ein Bündel von Drathspitzen) durch Verbindung mit dem Conductor einer Maschine elektrisirt; die Ablenkung der Nadel wurde vergröſsert, woraus zu schlieſsen ist, daſs die Verdampfung des Wassers zugenommen hatte. Lieſs man mit der Elektrisirung nach, so nahm auch die Nadel ihren früheren Standpunkt ein. Es war gleichgültig, ob die Kugel positive oder negative Elektricität erhalten hatte.

697 Bei diesen Versuchen ist es nicht allein die Bewegung der Luft, welche durch Entfernung des gebildeten Wasserdampfes und Hinzuführung neuer Luft die Verdampfung befördert. Da nämlich die bewegte Luft elektrisirt ist, so wird sie, auch ruhend gedacht, den unelektrischen Dampf anziehen, und dadurch seine schnellere Entfernung von der Wassermasse veranlassen. Peltier hat dies gezeigt, indem er die drei thermoëlektrischen Paare (§. 696.) aus U-förmig gekrümmten Wismuth- und Antimonstäben zusammensetzte, so daſs zwei nach oben geöffnete Dreifuſse gebildet wurden, von welchen der eine die oberen, der andere die unteren Löthstellen des vorigen Versuches enthielt. In jeden Dreifuſs wurde ein kleiner mit Wasser gefüllter Platintiegel gesetzt, über dem einen Tiegel ein Bündel aus Drathspitzen, über dem andern ein aus 4 Flügeln bestehender Ventilator angebracht, der durch ein Uhrwerk um eine verticale Axe gedreht wurde. Die freiwillige Verdampfung des Wassers in den Tiegeln brachte hier keine Ablenkung der Nadel des Multiplicators hervor, weil die dadurch hervorgebrachte Abkühlung in den beiden Tiegeln und an den sie berührenden Löthstellen der Kette gleich war. Wurde hingegen entweder das Drathbündel elektrisirt, oder der Ventilator in Bewegung gesetzt, so zeigte sich durch Be-

wegung der Nadel die gröfsere Erkaltung des betroffenen Tiegels. Um aber bei dem Spiele beider Ursachen der vermehrten Verdampfung die Nadel wieder auf Null zu bringen, die Verdampfung also in beiden Tiegeln gleich zu machen, mufste dem Ventilator eine Geschwindigkeit gegeben werden, die einen Luftstrom von gröfserer Stärke erregte, als der elektrische Wind besafs. Die Stärke der Luftströme beiderartiger Entstehung wurde aus der Bewegung von, in gröfserer Entfernung gehaltenen, Seidenfäden beurtheilt. [697]

Bewegung von Flüssigkeiten.

698 In gleicher Weise, wie die discontinuirliche Entladung Lufttheilchen elektrisirt und in Bewegung setzt, werden auch tropfbare Flüssigkeiten fortgeführt. Ein mit Wasser getränkter Schwamm, an dem Conductor einer Maschine befestigt, spritzt bei dem Elektrisiren leuchtende Wassertropfen aus. Hat man an der Spitze eines vom Conductor ausgehenden Drathes einen Siegellackklumpen befestigt und durch eine Flamme dickflüssig gemacht, so werden aus ihm durch das Elektrisiren zarte Fäden ausgesponnen, die ein darunter gehaltenes Papier in Form einer feinen Wolle bedecken[1]. Faraday[2]) liefs das Ende eines Metallstabes in ein Gefäfs mit Terpenthinöl tauchen, dessen metallener Boden zur Erde abgeleitet war. Ein an dem Ende des Stabes hängender Tropfen von Gummiwasser wurde, bei Elektrisirung des Stabes durch den Conductor einer Maschine, in feine Fäden ausgesponnen, die sich durch das Oel verbreiteten. War ein Tropfen Quecksilber an dem Stabe angebracht, so spitzte es sich durch Elektrisirung stark zu, und einzelne Theile davon wurden fortgeführt. Häufig sind Bewegungen von Luft und Flüssigkeit gleichzeitig vorhanden, und die letzteren zeigen sich auch neben der Fortspritzung durch eine Gestaltänderung des Tropfens. Faraday liefs einen Tropfen starker Chlorcalciumlösung von einem mit dem Conductor verbundenen, am Ende zugerundeten, Metalldrathe

---

[1]) Singer Elektricitätslehre* 48.
[2]) *Exper. research.* al.* 1571 *fll.*

[698] herabhangen. Durch das Spiel der Maschine wurde ein Theil des Tropfens fortgespritzt, der übrige Theil nahm die Form eines Kegels an, dessen Spitze eine Lichterscheinung mit starkem Winde zeigte. Erschien Glimmlicht, so blieb die Oberfläche des Tropfens glatt, entstand ein kurzer Büschel, so war eine zitternde Bewegung der Flüssigkeit sichtbar. Aehnliches wurde mit Wasser, oder besser mit Gummiwasser oder Syrup erhalten, von welchem ein Tropfen an einer Kugel hing. Bei langsamer Drehung der Maschine wandelte sich dieser Tropfen in einen Kegel mit concaver Seitenlinie und runder Endigung, an welcher Glimmen und Wind erschien. Bei schnellerer Drehung wurde ein Theil der Flüssigkeit fortgeführt, das Uebrige zugespitzt und auf der Oberfläche gekräuselt, unter dem Geräusche intermittirender Büschel. Bei noch stärkerer Elektrisirung wurde mehr Flüssigkeit fortgeführt, der zurückbleibende Tropfen abwechselnd verlängert und zusammengezogen, unter Erscheinung starker Lichtbüschel. Auffallend war, daſs, wenn der Versuch an einem Gummitropfen mit negativer Elektricität angestellt wurde, sich ein sichtlich breiterer Kegel bildete, als im Falle, wo positive Elektricität angewendet wurde.

699 Die Zuspitzung des elektrisirten Wassertropfens und die Fortspritzung von Wassertheilchen zeigt sich in gröſserem Maaſsstabe bei einem Versuche, der zuerst von Bose und Nollet[1]) angestellt worden ist. Auf den Conductor einer Elektrisirmaschine wurde ein mit Wasser gefüllter Metallbecher gestellt, und der kurze Schenkel eines Glashebers hineingetaucht, dessen langer Schenkel in ein capillares Rohr endigte. Wurde der Heber angesaugt, so floſs das Wasser in einzelnen Tropfen langsam ab; elektrisirte man nun den Conductor, so geschah der Abfluſs in einem zusammenhängenden Strahle, der sich weiterhin in mehrere feine, im Finstern leuchtende Strahlen zertheilte. Leichter wird der Versuch an einem mit capillarer Oeffnung versehenen Blechtrichter, der isolirt mit dem Conductor in Verbindung gesetzt wird. Ohne Elektrisirung flieſst das in den Trichter gegossene Wasser in

[1]) *Nollet recherches sur les causes des phénom. electr. Paris* 1749. 327. *Mém. de l'acad. de Paris* 1745. 119. — *éd. in* -12* 167. *Beccaria electric. artific.* * *al.* 658.

einzelnen runden Tropfen aus, elektrisirt, in mehreren sehr feinen divergirenden Strahlen. Im Finstern bilden diese Strahlen an der Oeffnung des Trichters einen Lichtkegel. Ob durch die Elektrisirung die Menge des abfliefsenden Wassers vermehrt wird, hängt von der Oeffnung der capillaren Röhre, vielleicht auch von ihrer Länge ab. Nollet fand die Vermehrung der ausfliefsenden Wassermenge durch Einflufs der Elektricität desto gröfser, je kleiner die Capillaröffnung war. Carmoy [1]) giebt bei Anwendung verschiedener Oeffnungen (von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{8}$ Lin. Durchmesser) die Wassermenge durch Elektricität theils vermehrt, theils vermindert an. In einer gröfsern Zahl von Versuchen hatte er 17465 Gran Wasser ausfliefsen lassen ohne Anwendung der Elektricität, unter denselben Umständen und in derselben Zeit fanden sich 329 Gran weniger ausgeflossen, als das Wasser durch den Conductor einer Maschine elektrisirt worden war. [699]

Wirkungen des elektrischen Lichtes.

700 Die Frage über die Wirksamkeit des elektrischen Lichtes darf, streng gefafst, nur auf die Wirkungen durch Strahlung gerichtet sein, das heifst auf Wirkungen, die in die Ferne ausgeübt werden. Das elektrische Licht geht von einem leuchtenden Stücke des Schliefsungsbogens aus, und eine Prüfung, im Bogen selbst vorgenommen, zieht das Prüfungsmittel nothwendig in den Kreis der Entladung, und giebt also zugleich eine Wirkung der Entladung an. Niemand wird, um das Licht einer Kerze zu untersuchen, ein Instrument in die Kerzenflamme bringen. Wenn gleichwol Aehnliches bei der Untersuchung des elektrischen Lichtes geschehen ist, so bleibt es mindestens zweifelhaft, ob nicht solche Versuche mit gröfserem Rechte den thermischen und chemischen Wirkungen der Entladung beizuzählen sind.

Wärme des elektrischen Funkens. Nairne [2]) liefs

---

[1]) *Journal de physique Nov.* 1788. Voigt Magazin für d. Neueste* VII, 64.
[2]) Gilbert Annalen* 20. 336.

[700] zwischen zwei Holzkugeln einen Funkenstrom übergehen und fand, dafs ein in den Strom gestelltes Thermometer um 14° R. stieg. Van Marum bestätigte diesen Versuch und trieb die Erwärmung höher, indem er das elektrische Licht im luftverdünnten Raume hervorbrachte [1]). Die Kugel des Thermometers befand sich in einer Glasglocke, in der die Luft verdünnt wurde; dicht über der Kugel war auf die Thermometerröhre eine Röhre aus Buchsbaum geschoben, unter die Kugel in einiger Entfernung ein ableitender Metallstab gestellt. Das elektrische Licht entstand zwischen dem untern Rande der Buchsbaumröhre und dem Metallstabe, und bespülte die Kugel des Thermometers, das dadurch in 16 Minuten um 47° R. stieg. Später stellte Van Marum [2]) zwischen den Conductor seiner grofsen Elektrisirmaschine und einer Ableitung eine 1 Zoll dicke, 11 Zoll lange Latte aus Rothtannenholz, über und durch welche die mächtigen Funken der Maschine überschlugen. Die Latte war nach 4 Minuten des Funkenspiels fühlbar erwärmt. Ein Thermometer, in eine Vertiefung der Latte gesteckt, stieg um 23° R. durch 5 Minuten lang überschlagende Funken. Es ist klar, dafs in diesen Versuchen die Kugel des Thermometers theils von der Entladung ergriffen und durch sie erwärmt wurde, theils die im Holze durch die Entladung erregte Wärme aufnahm. Wenn die Funken aus Metall in Luft übergehen, so läfst sich an einem, in seine Bahn gestellten, Thermometer keine oder nur eine sehr geringe Erwärmung nachweisen. Placidus Heinrich [3]) liefs über die Kugel eines Luftthermometers mehrere Entladungen einer Flasche gehen, ohne dafs der Stand desselben im Mindesten geändert wurde. Berthollet [4]) bemerkte, als Funken über die mit Dinte geschwärzte Kugel eines Luftthermometers schlugen, eine Erwärmung von 1° R. Als die Funken dicht neben der Kugel des Thermometers, ohne sie zu berühren, nach einer Ableitung schlugen, wurde nicht die geringste Erwärmung angezeigt. Der letzte Versuch ist in neuerer Zeit [5]) an dem empfindlichsten Thermoskope, der thermoëlek-

---

[1]) Gren's Neues Journ. d. Phys.* 3. 5. [2]) Gilbert Ann.* 1. 247. [3]) Die Phosphorescenz d. Körper 1ste Abh.* 98. [4]) Chemische Statik* 1. 270. [5]) Pogg. Annalen* 49. 574.

trischen Säule, mit gleicher Erfolglosigkeit wiederholt worden; [700] woraus folgt, dafs die Wärmestrahlung des elektrischen Funkens unmerklich ist, was unzweifelhaft allein seiner aufserordentlich kurzen Dauer zuzuschreiben ist. Denn dafs im Funken Wärme frei wird, geht aus der elektrischen Zündung, aus der Zersetzung durch den Funken (§. 593.) und aus den Versuchen, in welchen der Funke durch die Kugel eines Luftthermometers geht (§. 550.), deutlich hervor.

701 Licht des Funkens. Die Eigenthümlichkeit dieses Lichtes, durch Brechung in einem Glasprisma ein Spectrum mit anders gestellten und erleuchteten Linien zu geben, als andere Lichtquellen, ist §. 668 angeführt worden. Ebenso habe ich an einer frühern Stelle (§. 663.) die Eigenschaft der elektrischen Beleuchtung, die eine Folge ihrer äufserst kurzen Dauer ist, angeführt, eine schnell veränderliche Erscheinung im Zustande der Ruhe darzustellen. Durch den elektrischen Funken beleuchtet, sind die Zeichnungen auf einer rotirenden Scheibe erkennbar, eine tönende Saite wird in ihrer abgelenkten Lage, ein ausfliefsender Wasserstrahl mit seinen Anschwellungen und Zusammenziehungen gesehen. Eine andere auffallende Eigenschaft des Funkens rührt davon her, dafs er mit Leichtigkeit an Stellen gebracht werden kann, die für andere Lichter unzugänglich sind. Es werden Körper im Innern von dem elektrischen Funken erhellt und erscheinen durchsichtig, die bei anderem Lichte undurchsichtig oder nur schwach durchscheinend sind. Cadogan Morgan [1]) bohrte zwei spitze Dräthe $\frac{1}{8}$ Zoll tief in Tannenholz, so dafs die Spitzen im Holze 2 Zoll von einander standen. Durchschlagende Funken erleuchteten das Holz mit blutrothem Lichte, und mit gelbrothem, wenn die Dräthe in geringerer Tiefe in das Holz eingelassen waren. Funken, die man durch Krystalle von Kupfervitriol schlagen läfst, erleuchten diese mit blauem, Glaubersalzkrystalle mit gelbem Lichte. Pfeifenthon, Eier, Aepfel, Citronen werden durch Funken in der ganzen Masse erleuchtet [2]). In den Boden einer dichten Holzbüchse werde ein

---

[1]) *Philos. transact.* 1785. — *abridg.** 15. 676.
[2]) Singer Elektricitätslehre* 188.

[701] Loch gebohrt und mit dem Daumen fest verschlossen. Erzeugt man zwischen durchgehenden Dräthen im Innern der Büchse einen intensiven Funken, so sieht man den Daumen von rothem Lichte durchleuchtet.

702 Bei den Versuchen des Durchleuchtens verschwindet die Erhellung der Körper mit der Entladung; viel merkwürdiger ist die Wirkung des elektrischen Funkens, Körper mit eigenem Lichte eine längere Zeit hindurch leuchtend zu machen. Das Leuchten eines Körpers mit eigenem Lichte, ohne daſs er in dem Verbrennungsprocesse begriffen ist, nennt man Phosphorescenz; bei vielen Körpern wird diese Erscheinung durch Bestrahlung mit directem oder reflectirtem Sonnenlichte hervorgerufen, und nicht minder häufig ist die Phosphorescenz durch das elektrische Licht. Die ersten hieher gehörigen Versuche sind von Lane angestellt, und von Priestley[1]) mitgetheilt worden. Die Enden zweier Dräthe, 1 Zoll oder mehr von einander entfernt, waren auf die Oberfläche einer Marmortafel gesetzt worden; bei der Entladung einer leydener Flasche durch die Dräthe sah Lane den Weg, den der Funke auf dem Marmor genommen hatte, noch einige Zeit nach der Entladung im Dunkeln leuchten. Die Erscheinung trat bei vielen Körpern ein, die an die Stelle des Marmors gesetzt wurden; so bei allen kalkhaltigen Substanzen, ferner bei Papier, Dachziegel und Backstein, bei Pfeifenthon aber nicht. Diese erste Art des Versuches, noch jetzt die einzige, um in vielen Fällen die Phosphorescenz hervorzurufen, läſst es zweifelhaft, ob die Erscheinung nicht eine Wirkung der Entladung sei, welche die Oberfläche des Körpers ergreift und oft sichtlich verletzt. Die §. 703 aufgeführten Versuche zeigen indeſs, daſs nur das, die Entladung begleitende, Licht wirksam ist, und spätere Versuche bestätigen diese Folgerung auf indirecte Weise. Die zur Phosphorescenz geneigtesten Substanzen sind die künstlichen Leuchtsteine, von welchen die beiden vorzüglichsten in folgender Weise bereitet werden. Der Cantonsche Leuchtstein. Man glüht saubere Austerschalen in einem Tiegel, bis sie aufblättern, weiſs

[1]) *History of electricity Lond.* 1767* 812.

und zerreiblich werden. Die weißesten Stücke davon werden [702] ausgesucht, in einem Tiegel mit Schwefelblumen geschichtet und eine halbe Stunde einem mäßigen Kohlenfeuer ausgesetzt. Es kommt dabei auf den passenden, durch den Versuch zu findenden, Hitzegrad an, da eine zu geringe, wie eine zu starke Hitze die Verbindung des Schwefels mit dem Calcium verhindert. Der gelungene Leuchtstein ist rein weiß und leuchtet nach Bestrahlung mit dem Tageslicht theils gelb, theils bläulich. Der Bononische Leuchtstein, so genannt, weil er zuerst 1604[1]) aus dem bei Bologna gefundenen Schwerspath dargestellt wurde. Feingepulverter Schwerspath wird mit Eiweiß oder Traganthschleim zu einem Teige angerührt, aus dem man kleine Stäbe von etwa 2 Lin. Dicke und 1 Zoll Länge formt, und diese an der Luft trocknet. Man legt die Stäbe zwischen glühende Kohlen und läßt sie ungefähr 1 Stunde glühen. Es ist gut, den Luftzug zu den Kohlen zu mäßigen, weil bei zu starker Hitze der Leuchtstein nicht geräth, und die Stäbe von Zeit zu Zeit aus der Glut zu nehmen und zurückzulegen, bis sie einen Stich ins Gelbliche und einen Geruch nach Schwefelwasserstoff zeigen. Sie leuchten dann erkaltet, nach Bestrahlung mit Tageslicht, mehrere Minuten mit dunkelrothem, zuletzt bläulichem Lichte. An einigen von den, in verschlossenen Glasröhren aufbewahrten, Stücken habe ich die phosphorescirende Eigenschaft 9 Jahre nach ihrer Bereitung beobachtet.

703 Die künstlichen Leuchtsteine werden durch den elektrischen Funken leuchtend, wenn sie auch von der elektrischen Entladung gänzlich ausgeschlossen sind. Der ältere Seebeck[2]) legte die beiden im vorigen Paragraphe beschriebenen Leuchtsteine, in zugeschmelzte Glasröhren eingeschlossen, in der Entfernung von 1 Zoll unter die Lücke eines Schließungsbogens, der eine Flasche entlud, und sah sie durch den Funken leuchtend werden. Hierbei kann noch immer eine Wirkung der Entladung, unabhängig von der des Lichtes, angenommen werden, weil in einem in der Nähe eines Schließungsbogens lie-

[1]) *Mentzel lapis bononiens. Bilef.* 1675* 31.
[2]) Göthe zur Farbenlehre Tüb. 1810* 2. 708.

[703] genden Körper Elektricität erregt und entladen wird (§. 803.). Seebeck setzte zwei gleiche Leuchtsteine, den einen in einer gelbrothen, den andern in einer dunkelblauen Glasröhre, dem Lichte des Entladungsfunkens aus, und erhielt die Phosphorescenz nur an dem unter dem blauen Glase liegenden, ganz so, als wenn, statt des elektrischen, Sonnenlicht angewendet worden. Dies ist ein strenger Beweis, dafs bei dem Entladungsfunken nur das Licht, nicht die Entladung, die Wirkung hervorbringt. Es lassen sich auch natürliche Körper durch den Funken aus der Ferne leuchtend machen. Grotthufs hat dies an dem Chlorophan (Flufsspath aus Nertschinsk) gethan, ich selbst an einem Diamante; aber theils sind die zu dem Versuche geeigneten Exemplare nicht häufig, theils mufs dazu das Auge des Beobachters durch längeren Aufenthalt im Dunkeln empfindlich gemacht werden.

Die Phosphorescenz durch nicht elektrisches Licht, z. B. durch chinesisches Weifsfeuer, ist desto stärker, je länger, innerhalb einiger Sekunden, die Bestrahlung währt, und je heller die Beleuchtung des phosphorescirenden Körpers, also je näher derselbe dem Lichte, und je intensiver das Licht ist. Ueberträgt man diese Bedingungen auf die Phosphorescenz durch Elektricität, so findet man, dafs bei der Prüfung der Körper auf diese Eigenschaft ein Entladungsfunke erzeugt werden mufs, der in einem ganz metallischen Schliefsungsbogen, und, bei gegebener Elektricitätsmenge, mit möglichst grofser elektrischer Dichtigkeit stattfindet (§. 665.). Aber diese Bedingung ist bei vielen Körpern zur Hervorbringung der elektrischen Phosphorescenz nicht hinreichend, was bei der aufserordentlich kurzen Dauer des Funkens nicht auffallend ist; man mufs aufserdem die Entfernung des Funkens von der Oberfläche des untersuchten Körpers möglichst klein machen, also den Funken die Oberfläche streifen lassen. Mit dieser schon oben erwähnten Prüfungsart kann man denn wirklich alle Körper, die durch Bestrahlung mit Sonnenlicht phosphoresciren, durch Elektricität zu einer, gewöhnlich helleren und länger dauernden, Phosphorescenz bringen.

704 Von den Versuchsreihen, in welchen eine grofse Anzahl von Körpern, dem elektrischen Funken ausgesetzt, auf Phos-

phorescenz geprüft worden ist [1]), ist die von Heinrich angestellte bei Weitem die vollständigste und belehrendste. [704] Eine Lane'sche Funkenflasche wurde mit den beiden Armen eines allgemeinen Ausladers verbunden, die, mit Gewichten beschwert, mit ihren 1 Zoll von einander stehenden Enden die Oberfläche des untersuchten Körpers innig berührten. Bei der Selbstentladung der Flasche ging der Funke über eine zolllange Stelle der Oberfläche des Körpers; es wurden zwei Entladungen von dem Beobachter bei geschlossenen Augen abgewartet. Heinrich fand die künstlichen Leuchtsteine am besten phosphorescirend, von den natürlichen Körpern die kalkhaltigen. Weniger gut leuchteten die barythaltigen und kieselsauren Fossilien und die natürlichen Erdsalze (Borax, Soda, Salpeter, Salmiak, Alaun). Von den metallischen Salzen und Oxyden leuchteten nur wenige (Schwefelkies, Bleiweifs, Mennige, Bleizucker, phosphorsaures Quecksilber, Zinkoxyd); von Thon- und Talkhaltigen Mineralien nur Labrador, Siegelerde, Adular, Asbest, Schriftstein. Die brennbaren Mineralien und regulinischen Metalle leuchteten nicht, unter den Diamanten fanden sich leuchtende und nichtleuchtende. Die folgende Tafel giebt die Dauer der Phosphorescenz bei einigen kalk- und barythaltigen Substanzen.

	Minute	Sek.
Tropfstein und Kalksinter, die besten	1	30
schlechtesten		14
Isländischer Doppelspath (das stärkste Licht)	6	
roher Kalkstein	5	
gebrannter Kalkstein	4	30
weifser Marmor polirt		30
schwärzlicher Marmor		4
Florentiner Ruinenmarmor		12
Kalkspath, im Mittel		12
fossile Muscheln	4	
geglühte Muscheln	5	
Austerschalen		12
geglühte Austerschalen	50	
Alabaster polirt		12

[1]) Kortüm in Voigt Magazin f. d. Neueste* 1794. IX_2. 1. *Dessaignes in Journ. de physique* 1809. Heinrich Phosphorescenz* 1. 107. *Skrimshire Nicholson Journ. vol.* 15 *and* 16. *Encycl. metropol.* *Lond.* 1830 *vol.* 2 *electric.* 113. Placidus Heinrich die Phosphorescenz d. Körper* Nürnb. 1811 Abh. 1. 85.

[704]

		Minuten	Sek.
grüner Flufsspath (stärkstes Licht dauert)		6 Minuten	— Sek.
faseriger Schwerspath	stärkstes Licht	6	
blättriger Schwerspath			30
- -	schwach gebrannt	8	
bologneser Schwerspath			17
Hühnereier im Mittel			20
krystallisirter Gyps			8
grauer Stinkstein			17

705 Bei den natürlichen Phosphoren fand Heinrich die Phosphorescenz verschiedenfarbig und schnell in Weifs übergehend, und nur auf der Bahn merklich, die der Entladungsfunke genommen hatte, bei den künstlichen hingegen, wie bei den gebrannten Austerschalen, dem Bononischen Stein und Zucker, die ganze Masse, wenn sie nicht zu grofs war, hell leuchtend. Becquerel bedeckte gebrannte Austerschalen mit einer durchlöcherten Pappe, und liefs in einiger Entfernung davon einen intensiven elektrischen Funken übergehen; es erschien zuerst ein kleiner Kreis auf der Substanz leuchtend, nach und nach verbreitete sich der Lichtschein über andere Theile der Austerschalen und bedeckte sie gänzlich, ehe er erlosch. Heinrich fand in der ganzen Reihe seiner Versuche eine Uebereinstimmung der Phosphorescenz durch den elektrischen Funken mit der durch Sonnenlicht, die den überzeugendsten Beweis liefert, dafs die Elektricität hier allein durch ihr Licht wirkt. Dauer und Lebhaftigkeit der Phosphorescenz gehen nicht immer zusammen. Die kohlensauren Kalke leuchten im Allgemeinen kürzere Zeit, aber heller als die flufssauren. Wird ein Phosphor von Funken aus der Ferne bestrahlt, so ist sein Leuchten desto schwächer, je entfernter er von den Funken steht, und wird durch eine Bedeckung des Phosphors mit Glas, Krystall, Glimmer geschwächt. Als Becquerel[1]) geglühte Austerschalen mit Glasplatten verschiedener Dicke bedeckte, fand er sie durch den Funken desto schwächer leuchtend geworden, je dicker das Glas war. Dies liefs sich durch die bei gröfserer Dicke geringere Durchsichtigkeit des Glases erklären, die folgenden mit Biot's Hülfe angestellten Versuche zeigten aber, dafs bei heterogenen Schirmen die Durchsichtig-

[1]) *Comptes rendus* 8. 216. 228. Poggend. Ann.* 49. 543. 549.

keit nicht den Maafsstab für die Phosphorescenz des darunter [705] gelegten Stoffes abgiebt. Zu diesen Versuchen wurde der intensive Entladungsfunke einer Batterie von 18 Flaschen angewendet, der eine, in einiger Entfernung aufgestellte, Schale mit geglühten Austerschalen bestrahlte. Die Schale wurde zuerst mit einer Platte bedeckt, die aus einer 3,6 Millim. dicken Glasplatte und einer, Kante an Kante gekitteten, 5,9 Millim. dicken Bergkrystallplatte zusammengesetzt war. Die Entfernung der Schale von dem Funken war so gewählt, dafs die unter dem Glase liegende Masse nicht merklich leuchtend wurde, dennoch wurde die Masse unter dem Krystalle stark leuchtend. Als der Versuch mit einer 41,2 Millim. dicken, winkelrecht gegen die Krystallaxe geschnittenen, Platte aus Bergkrystall wiederholt wurde, zeigte sich noch ihre Ueberlegenheit über die Glasplatte, obgleich letztere bedeutend durchsichtiger war. Eine winkelrecht gegen die Axe geschnittene Platte aus Rauchtopas, von 21,7 Millim. Dicke, liefs die Austerschalen stärker phosphoresciren, als die 3,5 Millim. dicke Glasplatte. Noch durchgänglicher für die elektrische Phosphorescirung als der Quarz zeigte sich der krystallisirte Gyps. Unter einer klaren Gypsplatte von 7,6 Millim. Dicke wurden die Austerschalen hell leuchtend, während sie unter einer Glasplatte dunkel blieben. Es folgt hieraus, dafs durchsichtige Körper die Eigenschaft des elektrischen Lichtes, Phosphorescenz zu erregen, zwar schwächen, aber in einem andern Verhältnisse, als sie das Licht schwächen, wie dies auch in Bezug auf die strahlende Wärme stattfindet.

706 Wiederherstellung der verlorenen Phosphorescenz durch Elektricität. Wie durch Beleuchtung, so werden auch viele Körper durch Erwärmung phosphorescirend, verlieren aber beide Eigenschaften durch eine starke Erhitzung, die sie zum Glühen bringt. Dessaignes[1]) entdeckte, dafs man diesen geglühten Substanzen ihre verlorene phosphorescirende Eigenschaft wiedergeben könne, indem man elektrische Entladungen durch sie hindurchleitet. Geglühtes schwefelsau-

[1]) *Journ. de phys.* 1809. Heinrich Phosphorescenz* 1ste Abh. 125. 2te Abh. 294.

[706] res Kali wurde in eine Glasröhre gefüllt; nachdem 6 Entladungen einer leydener Flasche durch die Röhre gegangen waren, phosphorescirte das Pulver durch Sonnenlicht eben so gut, wie früher die Substanz im krystallinischen Zustande. Glaspulver und gepülverter Adular, die durch Glühen ihre Eigenschaft verloren hatten, auf eine heiſse Platte gelegt, zu phosphoresciren, erhielten diese Eigenschaft wieder, als einige Entladungen der Flasche durch sie gegangen waren. Heinrich[1]) gab frischgebranntem Kalk-, Fluſs- und Schwerspath durch den Entladungsfunken ihre verlorene Phosphorescenz bei Erwärmung wieder. Grotthuſs[2]) stellte die Versuche am Chlorophan (einem violetten Fluſsspath aus Nertschinsk) an, der bei einer Erwärmung bis 50° R. zu leuchten anfängt, bei der Glühhitze wasserhell wird, und dann nicht mehr phosphorescirt. Nachdem einige elektrische Funken durch den geglühten Chlorophan hindurchgegangen waren, hatte er die Eigenschaft wiedererhalten, nach Erwärmung oder Bestrahlung mit Sonnenlicht zu phosphoresciren. Pearsall[3]), der, wie jeder der vorher genannten Beobachter, die Wiederherstellung der Phosphorescenz entdeckt zu haben glaubte, versuchte solchen Mineralien, die im natürlichen Zustand keinen merklichen Grad von Phosphorescenz besitzen, diese Eigenschaft durch Elektricität zu ertheilen. Weiſser Fluſsspath, der durch Erwärmung nicht merklich phosphorescirte, that dies, nachdem eine elektrische Entladung durch ihn gegangen war. Auf phosphorescirenden Fluſsspath hatte die Entladung den Einfluſs, die Farbe zu ändern, mit der er leuchtete. So wurde die violette Phosphorescenz in eine tief purpurne, die purpurne in eine gelblich grüne, eine nelkenrothe in eine hellgrüne u. s. w. gewandelt. Die Farbe des, bei Erwärmung eines Fluſsspathes ausgesandten, Lichtes nahm mit der Zahl der angewandten elektrischen Entladungen an Schönheit und Stärke zu, so daſs Stücke, die gewöhnlich nur schwach leuchteten, durch wiederholte Anwendung elektrischer Entladungen an Stärke der Phosphorescenz dem Chlorophan gleichkamen. Die durch Elektricität wiedergegebene Phosphorescenz ist lange andauernd, und von Pear-

[1]) Phosphorescenz 2. Abh.* (1812) 289.
[2]) Schweigger Jahrbuch* (1815) 14. 180.
[3]) *Journ. of the roy. instit. I.* Poggend. Ann.* (1830) 20. 255. B. 22. 570.

sall noch 3 Monate nach der Wiederherstellung beobachtet [706] worden.

Die Wiederherstellung und Steigerung der Phosphorescenz 707 tritt auch bei Substanzen ein, die nicht unmittelbar von der Entladung getroffen werden. Pearsall brachte geglühte, also nicht phosphorescirende, Kammmuscheln und Austerschalen in Glasröhren, die an beiden Enden zugeschmelzt waren, legte diese Röhren in eine weite offene Röhre, durch die 160 Entladungen einer leydener Flasche geleitet wurden. Die eingeschlossenen Substanzen hatten ihre Fähigkeit wiedergewonnen, durch Erwärmung zu leuchten. Sechs, an beiden Enden verschlossene, Glasröhren, mit Chlorophan, Tintenfischbein und Kammmuscheln gefüllt (die Substanzen waren geglüht und nicht phosphorescirend), wurden in einen offenen Glascylinder gelegt, der übrigbleibende Raum mit Bleischrot ausgefüllt. Der Cylinder wurde in eine horizontalliegende offene Glasröhre geschoben, und der Zwischenraum zwischen Cylinder und Röhre mit geglühten Austerschalen und Flufsspath ausgefüllt. Nachdem 225 Entladungen einer leydener Flasche durch den Cylinder geleitet waren, hatten einige der in die Röhren eingeschlossenen Substanzen die Fähigkeit erhalten, durch Erwärmung zu phosphoresciren. Diese Versuche zeigen, dafs in der Nähe einer elektrischen Entladung noch eine Wiederherstellung der Phosphorescenz eintritt. Wir werden aber später sehen (§. 784.), dafs die Entladung in nahestehenden Körpern eine eigene Art von Entladung hervorbringt, die Seitenentladung genannt wird, und es steht zu vermuthen, dafs diese Entladung die beobachtete Wirkung auf die phosphorescirenden Körper hervorgebracht habe. Man wird versucht, die Wiederherstellung und Steigerung der Phosphorescenz überall einer directen Wirkung der elektrischen Entladung, und nicht des Lichtes, zuzuschreiben. Es findet sich zwar gelegentlich die Erfahrung angemerkt, dafs eine durch Bestrahlung mit elektrischem Lichte leuchtende Substanz durch wiederholte Bestrahlung, welche eine Wirkung der Entladung ausschlofs, empfindlicher geworden sei und stärker geleuchtet habe [1]); die Bemerkung ist aber nicht weiter verfolgt worden, und es bleibt

[1]) Poggend. Ann.* 49. 553.

[707] zweifelhaft, ob die durch fortgesetztes Verweilen im Dunkeln gesteigerte Empfindlichkeit des Auges für Lichteindrücke berücksichtigt worden ist. Die Annahme einer directen Wirkung des elektrischen Lichtes bei der Wiederherstellung der Phosphorescenz wird nicht durch eine ähnliche Wirkung des Sonnenlichtes unterstützt, da nach Brewster[1]) selbst das durch eine Linse concentrirte Sonnenlicht einem Flufsspath seine, durch Glühen zerstörte, Phosphorescenz nicht wiederzugeben vermag.

Drittes Kapitel.

Eigenthümliche Entladungen.

Die Entladung in einem dauernd unterbrochenen Schliefsungsbogen.

708 Bei den bisherigen Versuchen über die Entladung der elektrischen Batterie war der Schliefsungsbogen entweder voll, das heifst, durchgängig aus guten Leitern zusammengesetzt, oder er war an einer Stelle durch einen Luftraum, in dem sich auch feste Isolatoren befinden konnten, unterbrochen (§. 437—444.). In einem unterbrochenen Bogen konnte die Entladung nur discontinuirlich von Statten gehen, indem die Entladung an den leitenden Endflächen stockte, welche die Lücke begränzten, und diese dann plötzlich unter Funkenerscheinung übersprang. Dies Ueberspringen kann man verhindern, indem man die Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie unter einer bestimmten Gränze hält, die nach der Breite der Lücke und des darin befindlichen Isolators

[1]) *Edinb. phil. journ.* 1. 387. Poggend. Annalen* 20. 254.

abgemessen wird. Mit dieser Vorsicht erhält man nur den [708] ersten Act der discontinuirlichen Entladung, das Stehenbleiben derselben an bestimmten Stellen des Schliefsungsbogens, der dauernd unterbrochen bleibt. Ich habe die Wirkung dieser Entladung und ihre Gesetze untersucht [1]), und lasse das Wesentlichste davon hier folgen.

709 Von der inneren Belegung einer Batterie wurde eine Metallverbindung, die aus dem Entladungsapparat (§. 365.), einem Henley'schen Auslader und einem Kupferdrathe bestand, zu der einen, 81 Lin. breiten, Messingscheibe eines vertical stehenden Condensators (§. 338.) geführt. Diese Metallverbindung, die, wenn der Entladungsapparat geschlossen war, die innere Belegung der Batterie mit der Condensatorscheibe verband, soll der innere Theil des Schliefsungsbogens oder der innere Bogen, die Scheibe die innere heifsen. Von der zweiten Condensatorscheibe (der äufseren) war eine Metallverbindung, aus einem Henley'schen Auslader und einem breiten Kupferstreifen bestehend, zu der äufseren Belegung der Batterie geführt und soll als äufserer Bogen bezeichnet werden; dieser Bogen war isolirt oder nicht, je nachdem die äufsere Belegung der Batterie es war. Fig. 135 giebt das Schema dieser Einrichtung an. Nachdem der Entladungsapparat aufgezogen, und dadurch das Innere der Batterie von der inneren Condensatorscheibe getrennt war, wurde die Batterie, wie gewöhnlich, geladen, indem die äufsere Belegung derselben von dem Schliefsungsbogen getrennt und mit einer Maafsflasche verbunden war, deren Kugeln ½ Lin. von einander entfernt waren; alsdann wurde wieder der äufsere Bogen mit der äufseren Belegung der Batterie verbunden, und der niederfallende Entladungsapparat stellte die Verbindung zwischen innerer Scheibe und innerer Belegung wieder her. Die Batterie war in den folgenden Versuchen überall mit positiver Elektricität geladen.

710 Die Entfernung der Condensatorscheiben betrug im ersten Versuche 3 Linien, und dazwischen waren zur Vermeidung des Durchbruches der Entladung zwei Platten aus Guttaper-

---

[1]) Abhandlungen d. Akad. d. Wissensch. 1850.

[710] cha gestellt. Der äufsere Theil des Schliefsungsbogens blieb auch bei der Entladung isolirt; drei Flaschen der Batterie wurden mit der Elektricitätsmenge 16 geladen. Als der bewegliche Arm des Entladungsapparates niedergefallen war und gleich darauf wieder aufgezogen wurde, zeigten sich beide Scheiben des Condensators elektrisch, die innere war positiv, die äufsere negativ und zwar so stark elektrisch, dafs die Verbindung beider Scheiben durch die Finger einer Hand eine merkliche Erschütterung verursachte. Es war also von der inneren Belegung der Batterie positive Elektricität durch den inneren Schliefsungsbogen zur inneren Scheibe des Condensators, von der äufseren Belegung negative Elektricität zur äufseren Scheibe gegangen, und zwar in derselben Richtung, als wenn der innere und äufsere Bogen mit einander verbunden gewesen wären. Wir wollen diese Ueberführung der Elektricität beider Belegungen, der Kürze des Ausdruckes wegen, mit Entladung der Batterie bezeichnen, wenn auch die übergeführte Menge nur einen kleinen Theil der in der Batterie angehäuften Menge ausmacht. Sonst wird unter Entladung eine Ueberführung des bei Weitem gröfsten Theiles der angehäuften Elektricität verstanden, was indefs keine Undeutlichkeit zur Folge haben kann.

Um die Wirkung des, durch die Entladung im unterbrochenen Schliefsungsbogen gebildeten, Stromes zu untersuchen, wurde in den inneren Schliefsungsbogen ein empfindliches elektrisches Thermometer eingeschaltet, in dessen Kugel sich ein Platindrath von 115 Lin. Länge, 0,0185 Lin. Radius befand. Die Elektricitätsmenge 20, aus 3 Flaschen entladen, brachte keine Aenderung im Stande des Thermometers hervor. Es wurde nun an die Stelle des Thermometers ein Zersetzungsapparat (§. 610.) gesetzt. Die Entladung brachte eine Ausscheidung von Jod unter der Platinspitze hervor, die mit der inneren Belegung der Batterie verbunden war. Als der Zersetzungsapparat in den äufseren Bogen eingeschaltet war, fand die Jodausscheidung unter der mit der äufseren Condensatorscheibe verbundenen Spitze statt. Es folgt hieraus, dafs die Entladung in jedem Theile des dauernd unterbrochenen Schliefsungsbogens einen Strom von derselben Richtung hervor-

brachte, als wenn die Unterbrechung nicht vorhanden gewesen wäre. [710]

711 Dafs die Dichtigkeit der Elektricität im Schliefsungsbogen ein constantes Verhältnifs zu der elektrischen Dichtigkeit in der Batterie hat, wie es bei dem vollen Bogen der Fall ist, liefs sich durch Untersuchung der Schlagweite an einer Stelle des unterbrochenen Bogens ausmachen. Unter jener Voraussetzung mufs nämlich, wie wir später sehen werden (§. 805.), die Schlagweite mit dem Quadrate der Dichtigkeit der in der Batterie befindlichen Elektricität veränderlich sein. Ein Funkenmikrometer (§. 330.), dessen Kugeln in bestimmte Entfernungen von einander gestellt waren, wurde in den äufseren Schliefsungsbogen eingeschaltet, und die kleinste Elektricitätsmenge gesucht, mit der die Batterie geladen sein mufste, um bei der Entladung einen Funken im Mikrometer erscheinen zu lassen. Die Condensatorscheiben waren im ersten Versuche 3 Linien von einander entfernt und durch eine Guttaperchaplatte getrennt. Die Batterie bestand aus 3 Flaschen.

Schlagweite d	Elektricitätsmenge beobachtet q	berechnet	$(q = b\sqrt{d})$ b
0,2 Lin.	4,5	4,6	
0,4	6,5	6,6	
0,8	10	9,4	
1,2	15	11,5	10,5
Condensatorscheiben 4 Linien, ohne Guttapercha.			
0,2	6	6,3	
0,4	8	8,9	
0,8	12	12,6	
1,2	16	15,4	
1,6	19	17,8	14,1

Die Rechnung ist nach der Formel $d = b\left(\frac{q}{s}\right)^2$ geführt, worin die Flaschenzahl s constant gesetzt ist. Schon in der ersten Reihe ist die Uebereinstimmung der beobachteten Werthe mit den berechneten deutlich, und die Abweichung zwischen ihnen erklärlich. Vor jedem Versuche mufsten nämlich Batterie und Condensator durch metallische Verbindung der entgegenstehenden Belegungen unelektrisch gemacht werden. Dies fand sich aber in kurzer Zeit nicht ausführbar, und mufste

[711] nothwendig die folgenden Beobachtungen stören. Als die zwischen den Scheiben des Condensators ausgespannte Guttapercha-Platte untersucht wurde, zeigte sie sich an beiden Flächen stark elektrisch, obgleich sie die Condensatorscheiben nicht berührt hatte, und diese mit einander metallisch verbunden gewesen waren. In der zweiten Reihe, in welcher nur eine Luftschicht die Condensatorscheiben trennte, und diese vollständig entladen werden konnten, ist die Uebereinstimmung genügender. Dafs nicht die Elektricitätsmenge in Batterie und Schliefsungsbogen, sondern ihre Dichtigkeit die Schlagweite bestimmt, zeigte die Beobachtung einer constanten Schlagweite bei Aenderung der Zahl der Batterieflaschen:

Flaschenzahl	3	4	5	6	7
Elektricitätsmenge	6	9	11	13	14
elektr. Dichtigkeit	2,0	2,2	2,2	2,1	2,0

Es gehörten also zu constanten Schlagweiten im Schliefsungsbogen constante Dichtigkeiten der Elektricität in der Batterie, obgleich, wie wir §. 714 sehen werden, die in den Bogen tretenden Elektricitätsmengen den Mengen in der Batterie keinesweges proportional waren. Die Versuche gaben Dasselbe, wenn die äufsere Belegung der Batterie, und damit der äufsere Bogen, vollkommen zur Erde abgeleitet war. Es ist daraus zu schliefsen, dafs die Dichtigkeit der in den unterbrochenen Schliefsungsbogen tretenden Elektricitätsmenge der Dichtigkeit der in der Batterie befindlichen Menge proportional ist, eine Folgerung, die durch spätere Versuche (§. 715.) vollkommen bestätigt wird.

712 Stromstärke nach der Oberfläche des eingeschalteten Condensators. Um die Stärke des Entladungsstromes numerisch zu bestimmen, mufste die Erwärmung eines in den Schliefsungsbogen eingeschalteten constanten Drathes beobachtet, und daher die bisher in Bewegung gesetzte Elektricitätsmenge bedeutend vergröfsert werden. Dies erfordert die Anwendung eines gröfseren Condensators, der in der bisher gebrauchten Plattenform und mit Luftzwischenlage nicht leicht in der nöthigen Gröfse zu beschaffen ist. Man kommt leicht zum Zweck, wenn man zu der andern Form des Condensators übergeht, in welcher er den Namen der leydener

Flasche trägt, und daher eine oder mehrere Flaschen in den [712] Schliefsungsbogen einschaltet. Dies hat Dove zuerst ausgeführt und im Allgemeinen die Wirksamkeit des hier betrachteten Stromes aufgezeigt [1]). Er fand, dafs dieser Strom, der vorzugsweise im äufseren Schliefsungsbogen untersucht wurde, fähig ist, einen Drath zu erwärmen, nahe gelegte Stahlnadeln zu magnetisiren und die Erschütterung zu geben; dafs er durch eine Lücke mit einem Funken überspringt, eine darin gelegte Karte durchbohrt, in einem, dem Schliefsungsbogen parallel laufenden, Drathe einen Nebenstrom erregt. Ich bediente mich zu den folgenden Versuchen einer Batterie aus 5 Flaschen, von welchen jede eine Belegung von nahe 1,5 Quadr.-F. besafs, und die auf einer isolirten Metallplatte standen. Diese Batterie, die in den Schliefsungsbogen eingeschaltet wurde, werde ich, der Deutlichkeit des Ausdruckes wegen, als Condensator, ihre Flaschen als Condensatorflaschen bezeichnen. Die von der Elektrisirmaschine direct geladene Batterie bestand aus 7 Flaschen, jede von nahe 2,6 Quadr.-F. Belegung. Nachdem die Batterie, wie früher, geladen war, wurde ihre äufsere Belegung mit der Metallplatte verbunden, auf der die Condensatorflaschen standen, und die innere Belegung von Batterie und Condensator durch den Entladungsapparat in Verbindung gesetzt. Der ganze Schliefsungsbogen bestand daher hier aus dem Verbindungsdrathe der inneren Belegung von Batterie und Condensator (dem inneren Bogen), der inneren Belegung des Condensators, der äufseren Belegung desselben, und aus dem Verbindungsdrathe der äufseren Belegungen (dem äufseren Bogen). Dieser äufsere Bogen war nicht isolirt, weil sonst auf einander folgende Beobachtungen am Thermometer weniger übereinstimmend ausfielen, was der auf dem Bogen zurückbleibenden Elektricität zuzuschreiben ist. Bei constanter Zahl der Batterie- und Condensatorflaschen befolgten die Erwärmungen im Schliefsungsbogen dieselbe Abhängigkeit von Elektricitätsmenge und Dichtigkeit in der Batterie, die wir am vollen Bogen bemerkt haben. Als z. B. 5 Flaschen der Batterie und des Condensators gebraucht wurden, gaben

[1]) Poggend. Ann.* 64. 81.

[712] die Elektricitätsmengen 10 12 14 an einem in den inneren Bogen eingeschalteten Luftthermometer die Erwärmungen 9,7 14,3 19,2 welche durch die Formel $\Theta = 0{,}49\,\frac{q^2}{s}$ dargestellt werden, wo q die Elektricitätsmenge, s die Flaschenzahl der Batterie bedeutet.

713 Wird aber die elektrische Dichtigkeit in der Batterie unabhängig von der Elektricitätsmenge geändert, oder bleibt die Flaschenzahl des Condensators nicht dieselbe, so kann die einfache Wärmeformel keine Geltung haben, wie die folgende Betrachtung lehrt. Die genannte Formel ist eine Zusammenziehung des theoretischen Ausdrucks $\Theta = a\,q_{,}y$, wo y die Dichtigkeit, $q_{,}$ die Menge der Elektricität bezeichnet, die aus der Batterie in den Schliefsungsdrath eintritt und daselbst die Erwärmung Θ hervorbringt. Durch einen vollen Schliefsungsbogen wird stets derselbe aliquote Theil der in der Batterie befindlichen Elektricitätsmenge entladen (§. 631.), und wir waren daher bisher berechtigt, da a in der Formel eine willkürliche Constante bedeutet, für $q_{,}$ nicht die in den Bogen wirklich eintretende, sondern die in der Batterie befindliche Elektricitätsmenge zu setzen, die wir überall mit q bezeichnet haben. Dies ist nicht mehr erlaubt, wenn ein veränderlicher Condensator in den Schliefsungsbogen eingeschaltet, oder bei constantem Condensator die Batterie verändert wird. Wir haben gesehen (§. 326.), dafs die Elektricitätsmenge, die ein Condensator von einem elektrisirten Körper aufnimmt, von der relativen Gröfse des Condensators abhängt. Diese Elektricitätsmenge ist aber in unserem Falle augenscheinlich die, welche in den Drath eintritt, der Batterie und Condensator verbindet, und daselbst die Erwärmung hervorbringt. Um die Wärmeformel für diesen Fall geltend zu machen, müfste zu q ein von der Beschaffenheit der Batterie und des Condensators abhängiger Coëfficient gesetzt werden. Dieser Coëfficient ist im Allgemeinen nicht anzugeben, selbst wenn Form und Zwischenlage des Condensators unverändert bleiben. Wir haben nämlich früher gesehen (§. 326.), dafs, wenn ein kleiner Condensator durch einen gröfseren ersetzt, oder die Gröfse der angelegten elektrisirten Körper verändert wird, die aufgenom-

mene Elektricitätsmenge sich keinesweges im Verhältnisse der [713] Oberflächen verändert. Nur in dem speciellen Falle, der uns hier vorliegt, wo Batterie und Condensator nicht vergröfsert und verkleinert, sondern durch die Zahl der benutzten identischen Flaschen vermehrt und vermindert wird, hat die Erfahrung das Verhältnifs der Oberflächen für das der Elektricitätsmengen als nahe zutreffend aufgezeigt (§. 724.). Für diesen Fall läfst sich demnach die Formel, nach welcher die Erwärmung im Schliefsungsbogen erfolgt, leicht zusammensetzen.

714 Es bezeichne 1 die Gröfse der inneren Belegung einer Batterieflasche, s die Zahl der Flaschen, f die Belegung einer der Condensatorflaschen, c ihre Anzahl, so geht nach dem angegebenen Verhältnisse von der in der Batterie befindlichen Elektricitätsmenge q die Menge $\frac{fcq}{s+fc}$ auf den Condensator über. Setzen wir diesen Werth für $q_{,}$ in den Ausdruck $aq_{,}y$ und nehmen ferner nach §. 711 an, dafs die Dichtigkeit y der Elektricität in der Batterie auch für die übergehende Elektricität gilt, so kommt, wenn für y ihr Werth $\frac{q}{s}$ gesetzt wird,

$$\Theta = \frac{afq^2}{\left(\frac{s}{c}+f\right)s}$$

als Ausdruck der Erwärmung durch die Entladung einer Batterie, deren Flaschenzahl s ist, in einem constanten Schliefsungsbogen, der durch einen aus c Flaschen bestehenden Condensator unterbrochen wird. Bei der Prüfung der Formel durch Versuche kann f im Zähler fortgelassen werden, da die Constante a experimentell bestimmt wird. Diese Constante a hängt, wie aus der Herleitung der Formel klar ist, von f ab, so dafs daher, wenn a numerisch bestimmt worden, die gewählten Batterie- und Condensatorflaschen beibehalten werden müssen. In meinen Versuchen betrug die Belegung einer Batterieflasche 2,6 die einer Condensatorflasche 1,5 Quadr.-F., und es wurde daher überall $f=0,577$ gesetzt. Die Constante a giebt den Werth des Entladungsstromes an, unabhängig von der Gröfse der Batterie, ihrer Ladung und des Condensators. Ihre Berechnung wird erleichtert, wenn man die Beobachtun-

[714] gen so einrichtet, dafs $\frac{s}{c}$ constant bleibt, also die Zahl der Batterie- und Condensatorflaschen in gleichem Verhältnisse ändert. Alsdann kommt die Formel auf die, bei dem vollen Bogen geltende, Form zurück $\Theta = a' \frac{q^2}{s}$, worin a' auf die früher angewandte Art bestimmt wird. Aus a' ist dann leicht a zu finden, da $a' = \frac{a}{\frac{s}{c}+f}$. Am leichtesten ist a' aus Versuchen zu bestimmen, in welchen $\frac{s}{c} = 1$, also die Flaschen der Batterie und des Condensators in gleicher Zahl benutzt werden. Für die von mir angestellten Versuche ist dann nach den oben angegebenen Werthen $a = 1{,}577\, a'$.

715 Die im vorigen Paragraphe angegebene Formel gilt sowol für die Erwärmung im inneren wie im äufseren Bogen, nur dafs die Constante a in jedem von beiden Fällen besonders bestimmt werden mufs. Die folgenden Beobachtungen, die als Beispiel hier aufgeführt werden, sind im äufseren Bogen gewonnen worden.

Erwärmung im äufseren Schliefsungsbogen.

Zahl der Flaschen		Elektricitäts-menge.	Erwärmung	
d. Condensators	d. Batterie.		beobacht.	berechn.
c	s	q	Θ	
5	7	12	7	6,8
		14	9	9,2
		16	12	12
5	5	10	8,5	8,2
		12	11,4	11,8
		14	15,3	16,1
5	3	6	6,6	6,6
		8	11,7	11,7
		10	17,2	18,3
3	3	8	9,5	8,8
		10	13,3	13,7
		12	19,3	19,7
1	3	12	9,3	8,7
		14	12,3	11,9
		16	15,7	15,4

Die Rechnung ist nach der Formel $\Theta = \frac{0{,}649\, q^2}{\left(\frac{s}{c}+0{,}577\right) s}$ geführt.

716 **Einflufs der Beschaffenheit des Schliefsungsbogens auf den Strom.** Wenn zu einem vollen Schliefsungsbogen ein Drath hinzugesetzt wird, dessen Länge l, Radius r, specifische Verzögerungskraft x ist, so wird der Entladungsstrom im Verhältnisse $1+b\frac{lx}{r^2}$ oder $1+bV$ verringert (§. 489.). $V=\frac{lx}{r^2}$ ist Verzögerungswerth des Drathes genannt worden. Die Constante b hängt von der Beschaffenheit des constanten Bogens ab, und mufs experimentell bestimmt werden. Die Versuche haben gezeigt, dafs dies Gesetz auch für den dauernd unterbrochenen Schliefsungsbogen gilt, so dafs also die Erwärmung in ihm den allgemeinen Ausdruck hat

$$\Theta=\frac{aq^2}{\left(\frac{s}{c}+f\right)\left(1+bV\right)},$$

mit der angegebenen Bedeutung der Zeichen. Untersucht man die Erwärmung verschiedener Stellen des Bogens, so ist die Formel, wie früher im vollen Bogen, noch mit V', dem Verzögerungswerthe der geprüften Stelle, zu multipliciren. Die Formel gilt sowol, wenn der zugesetzte Drath sich im inneren, als wenn er sich im äufseren Bogen befindet, nur wurde im ersten Falle der Werth der Constante b etwas geringer gefunden, als im zweiten. Als z. B. ein dünner Platindrath zum äufseren Bogen hinzugesetzt war, ergab sich $b=0{,}00000217$, und als der Drath zum inneren Bogen hinzugesetzt war, $=0{,}00000183$. Derselbe Drath schwächt also den Entladungsstrom *weniger*, wenn er zum inneren, als wenn er zum äufseren Bogen hinzugesetzt wird. Es rührt dies vermuthlich davon her, dafs die äufsere Belegung der Batterie, und damit der äufsere Bogen, zur Erde abgeleitet, der innere Bogen hingegen isolirt war. Der Unterschied der Werthe von b müfste demnach verschwinden, wenn man auch den äufseren Bogen vollkommen isolirte. Eine solche Anordnung des Versuches ist indefs mifslich, weil dadurch die Genauigkeit der Versuche beeinträchtigt wird.

717 Die angegebene Formel gilt für Erwärmung im inneren, wie im äufseren Schliefsungsbogen. Ich habe sie vorzugsweise

[717] durch Beobachtungen im äufseren Bogen geprüft, weil mit diesen eine schädliche Vorstellung sogleich entfernt wird, die sich dem Beobachter leicht aufdrängt. Wollte man nämlich den inneren und äufseren Theil des Schliefsungsbogens, jeden für sich, als Ganzes betrachten, so würde derjenige Theil, in welchem sich bei meinen Versuchen das Thermometer befand, der bei Weitem am schlechtesten leitende gewesen sein. Der lange dünne Platindrath in der Kugel des Thermometers hat einen Verzögerungswerth, der den des übrigen Theiles des Schliefsungsbogens um Vieles übertraf. Es wurde also durch einen äufserlich hinzugesetzten Platindrath derjenige Theil des Schliefsungsbogens, in welchem sich das Thermometer befand, hinsichtlich seines Verzögerungswerthes viel weniger geändert, als der andere Theil, und es würde daher stets die geringere Erwärmung des Thermometers beobachtet werden müssen, wenn Thermometer und eingeschalteter Platindrath sich auf verschiedenen Theilen des Schliefsungsbogens befinden. Es ist aber die geringere Erwärmung beobachtet worden, als sich Thermometer und Platindrath auf derselben Seite des Condensators befanden. Hierdurch wird auf schlagende Weise die Ansicht gestützt, dafs der durch den Condensator in zwei Theile getheilte Schliefsungsbogen als ein Ganzes den Entladungsstrom bestimmt. Empirisch läfst sich der Einflufs eines zum Schliefsungsbogen hinzugesetzten Drathes so ausdrücken: Jeder zum unterbrochenen Schliefsungsbogen hinzugefügte Drath schwächt den Strom im Verhältnisse seines Verzögerungswerthes, nur ist der Coefficient des Verhältnisses etwas gröfser, wenn der Drath zum äufseren, als wenn er zum inneren Bogen hinzugesetzt wird.

718 Stromstärke im inneren und äufseren Schliefsungsbogen. Um die Stärke des Entladungsstromes im inneren und äufseren Schliefsungsbogen mit einander zu vergleichen, genügt es nicht, das Thermometer von der einen Stelle an die andere zu versetzen, da wir gesehen haben, dafs die Zusetzung eines Drathes einen verschiedenen Einflufs auf den Strom hat, je nachdem er auf der einen oder anderen Seite des Condensators angebracht wird. Es wurde daher eine Vorrichtung hergestellt, die mit dem Drathe des Ther-

mometers und seinen Befestigungen nahe gleichen Verzöge- [718] rungswerth besafs, und diese im äufseren Bogen angebracht, während das Thermometer im inneren Bogen beobachtet wurde, und umgekehrt. Der Schliefsungsbogen war also bei Beobachtungen im inneren und äufseren Bogen auf dieselbe Weise zusammengesetzt, so dafs die verschiedenen Resultate nur auf Rechnung der Elektricitätsmenge des Stromes gesetzt werden können. Aus 24 Beobachtungen der Erwärmung bei verschiedener Elektricitätsmenge und Flaschenzahl von Batterie und Condensator wurde die Constante a der Formel

$$\Theta = \frac{a q^2}{\left(\frac{s}{c} + 0{,}577\right) s}$$

bestimmt, sowol wenn das Thermometer im inneren, als wenn es sich im äufseren Bogen befand. Die Beobachtungen im inneren Bogen gaben $a = 0{,}559$, die im äufseren $a = 0{,}509$. Die Stärke des Entladungsstromes hatte unter gleichen Bedingungen vom inneren zum äufseren Bogen im Verhältnisse 1 zu 0,91 abgenommen.

Es ist klar, dafs dies Verhältnifs nur für die hier ange- 719 wandten Batterie- und Condensatorflaschen gilt, und bei anderer Oberfläche oder Glasdicke dieser Flaschen ein anderes sein würde. Aber wesentlich ist die gröfsere Stärke des Stromes im inneren Bogen, die sich in folgender Weise aus den Gesetzen der Influenz herleiten läfst. In einem condensirenden Apparate ist die durch Influenz erregte Elektricitätsmenge kleiner, als die erregende, und von einer influencirten Fläche geht eine ebenso grofse Menge Elektricität fort, als darin zurückbleibt (§. 387.). Es bezeichne für die Batterieflaschen, wenn der einen Belegung die Elektricitätsmenge 1 mitgetheilt wird, m die Menge der Influenzelektricität auf der entgegenstehenden Belegung, und dieselbe Bedeutung habe μ in Bezug auf die Condensatorflaschen. Durch die Entladung sei von der inneren Belegung der Batterie die Elektricitätsmenge $+1$ fortgeführt worden, so entfernt sich die Menge $-m$ von ihrer äufseren Belegung. Erhält durch die Entladung die innere Belegung des Condensators die Menge $+1$, so geht von seiner äufseren die Menge $+\mu$ fort, und ferner

[719] geht, wenn die äufsere Belegung des Condensators die Menge $-m$ erhält, von seiner inneren $-m\mu$ fort. Es sind daher auf dem inneren Schliefsungsbogen in Bewegung die Elektricitätsmengen $+1$ und $-m\mu$, auf dem äufseren die Mengen $+\mu$ und $-m$. Da nun $(1+m\mu)-(m+\mu)=(1-m)(1-\mu)$, die Gröfsen m und μ aber nothwendig stets kleiner als 1 sein müssen, so ist $1+m\mu$ stets gröfser als $m+\mu$ und es ist also, abgesehen von dem Zeichen, auf dem inneren Bogen eine gröfsere Menge von Elektricität in Bewegung, als auf dem äufseren, und dadurch die gröfsere Stärke des Entladungsstromes an der ersten Stelle nothwendig. —

Eine Schätzung der Werthe von m und μ in den §. 718 erwähnten Versuchen zeigte, dafs der dort gefundene Unterschied der Stromstärke gröfser war, als nach dem eben gegebenen Ausdrucke erwartet werden konnte. Dies rührt davon her, dafs wir hier die auf dem äufseren Bogen in Bewegung gesetzte Elektricitätsmenge zu grofs angesetzt haben, wie sich durch die folgenden Versuche zeigen läfst.

720 Seitenentladung im unterbrochenen Schliefsungsbogen. Es wird später (§. 784.) unter dem Namen Seitenentladung eine eigene Erscheinung am vollen Bogen ausführlich betrachtet werden, von der hier die folgenden Erfahrungen anzuführen sind. Man befestige an einem beliebigen Punkte eines Schliefsungsbogens das Ende eines isolirten Drathes und schneide diesen durch, so dafs er an einer Stelle durch eine Luftschicht unterbrochen ist. Der am Schliefsungsbogen befestigte Theil des Drathes wird der Ast, der übrige Theil der Seitendrath genannt. Während der Entladung einer Batterie durch den Schliefsungsbogen erscheint in der Lücke zwischen Ast und Seitendrath ein Funke, dessen Länge dem Quadrate der Dichtigkeit der in der Batterie befindlichen Elektricität proportional ist. Die Länge des Funkens (die Seitenschlagweite) ist unter sonst gleichen Bedingungen desto gröfser, je näher dem Innern der Batterie der Ast an den Schliefsungsbogen angesetzt worden ist, und endlich bleibt in allen Fällen der Seitendrath mit der Elektricitätsart geladen zurück, die sich im Inneren der Batterie befindet. Diese Erscheinungen wurden nun an dem unterbrochenen Schliefsungsbogen, und

zwar an seinem äufseren Theile, untersucht. Der Ast, 53 Zoll [720] lang, wurde successiv an zwei Punkten des äufseren Bogens und an der einen Kugel eines Funkenmikrometers (§. 330.) befestigt, von dessen zweiter Kugel der 149 Zoll lange Seitendrath ausging, der in der Kugel eines Goldblattelektroskopes endigte (Fig. 136.). Bei verschiedenen Enfernungen der Kugeln des Mikrometers von einander, wurde die kleinste Elektricitätsmenge gesucht, mit der die Batterie geladen sein mufste, um im Mikrometer einen Funken erscheinen zu lassen. Diese Entfernungen geben die Seitenschlagweite für die Ladung der Batterie. Die Batterie bestand aus 3 Flaschen und wurde mit positiver Elektricität geladen, der Condensator war aus 5 Flaschen zusammengesetzt.

Seitenentladung im äufseren Schliefsungsbogen.

Entfernung d. Astes vom Condensator.	Seitenschlagweite x	Elektricitätsmenge beob. q	berechn.	$q = b\sqrt{x}$ Constante b
5½ Zoll	0,1 Linien	9,0	8,5	
	0,2	12	12	
	0,4	17	17	26,9
38	0,1	11	11,1	
	0,2	16	15,7	
	0,4	22	22,2	35,1

Diese Versuche stimmen vollkommen mit den am vollen Schliefsungsbogen angestellten überein, hier wie dort ist die Seitenschlagweite dem Quadrate der Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie proportional, und nimmt ab mit der Entfernung des Astes von dem Inneren der Batterie. Aber ein durchaus abweichendes Ergebnifs lieferte das Elektroskop, das hier die Elektrisirung des Seitendrathes mit *negativer* Elektricität angab, während bei vollem Schliefsungsbogen diese von positiver Art gefunden worden wäre.

721 Diese abweichende Erscheinung findet nicht allein bei den angewandten Condensatorflaschen statt, die kleiner als die Batterieflaschen waren, und daher eine geringere Menge von Influenzelektricität erregten. Als diese Flaschen durch einige von der Batterie genommene ersetzt waren, wurde der Seitendrath, wie früher, nach der Seitenentladung negativ elektrisch gefunden. Hiernach ist bei dem unterbrochenen Schlie-

[721] fsungsbogen der Ueberschufs der auf dem äufseren Bogen sich ausgleichenden Elektricitäten ungleichnamig mit der Elektricität im Inneren der Batterie, eine Folgerung, die durch Prüfung des isolirten äufseren Bogens bestätigt wurde. Mit dieser Erfahrung kehren wir zu der Betrachtung in §. 719 zurück. Es bezeichne wieder, wie dort, m und μ das Verhältnifs der Influenzelektricität zur erregenden in Bezug auf die Batterie und die Condensatorflaschen. Wenn die Entladung aus dem Inneren der Batterie die Elektricitätsmenge $+p$ fortführt, so geht von ihrer äufseren Belegung $-mp$ fort. Angenommen, dafs die Menge $+p_{,}$ in den Condensator übergeht, von der es ungewifs bleibt, ob sie $=p$ sei, so geht von der äufseren Belegung des Condensators $+\mu p_{,}$ fort, und auf dem äufseren Bogen sind daher die Mengen $(\mu p_{,} - mp)$ vorhanden. Da sich nun gezeigt hat, dafs diese Summe negativ ist, auch wenn $m = \mu$ gesetzt worden, so folgt, dafs $p_{,}$ kleiner als p sei. Von der aus der Batterie entladenen Menge p geht also nur ein Theil in den Condensator über, und der übrige Theil bleibt auf dem inneren Bogen zurück. In §. 719 war die aus der Batterie entladene Menge $=1$ gesetzt; ist r der Theil davon, der auf dem inneren Bogen zurückbleibt, so findet man, dafs die auf dem äufseren Bogen in Bewegung gesetzte Elektricitätsmenge $= m + \mu(1-r)$ ist. Der Unterschied zwischen dieser und der auf dem inneren Bogen bewegten Menge ist daher $(1-m)(1-\mu) + r\mu$, und, da beide Summanden nothwendig positiv sind, gröfser als der §. 719 angegebene Werth. Der Theil r hängt von Form und Dimensionen des inneren Schliefsungsbogens ab.

722 Einschaltung von zwei Condensatoren in den Schliefsungsbogen. Wenn man im inneren oder äufseren Theile eines unterbrochenen Schliefsungsbogens die Erwärmung untersucht, und dann hinter dem ersten Condensator einen zweiten in der Art einschaltet, wie es Fig. 137 zeigt, so findet man die Erwärmung an der früheren Stelle bedeutend vermindert. Ich benutzte einen Condensator, der aus 2 Flaschen bestand, und fand aus 12 Beobachtungen im inneren Schliefsungsbogen, in der Formel $\Theta = \frac{aq^2}{\left(\frac{s}{c} + 0{,}577\right)s}$ die Constante

$a = 0{,}397$. Als die äufsere Belegung dieses Condensators mit [722] der inneren von zwei anderen Condensatorflaschen, die äufsere Belegung der letzteren mit der äufseren Belegung der Batterie verbunden war, wurde aus 12 Beobachtungen $a = 0{,}23$ gefunden. Die Erwärmung war also durch Einschaltung des zweiten Condensators in den Schliefsungsbogen im Verhältnisse 1 zu 0,579 vermindert worden. In gleicher Weise ging, als die Erwärmung im äufseren Theile des Schliefsungsbogens beobachtet wurde, dieselbe durch Einschaltung eines zweiten Condensators von 1 auf 0,565 zurück. —

Die Erwärmung im unterbrochenen Schliefsungsbogen hat, wenn wir $\frac{q}{\frac{s}{c}+f} = q_{,}$ und $\frac{q}{s} = y$ setzen, den Ausdruck

$$\Theta = \frac{a q_{,} y}{1 + bV}$$

(§. 716.), wo $q_{,}$ und y Menge und Dichtigkeit der in den Schliefsungsbogen eintretenden Elektricität, und V den Verzögerungswerth des Bogens bedeutet. Es blieb also ungewifs, ob die eben erwähnte Verminderung der Erwärmung herrühre von der durch Einschaltung des zweiten Condensators verringerten Elektricitätsmenge $q_{,}$, oder von einer Vergröfserung des Verzögerungswerthes V des Bogens. Die folgenden Versuche setzten die erste Annahme aufser Zweifel.

723 Die Belegungen des ersten, dem Inneren der Batterie nächsten, Condensators wurden durch Dräthe mit den Kugeln des Funkenmikrometers verbunden, die zuerst 1 Zoll weit auseinander gerückt waren. Nachdem die Batterie geladen und durch den Schliefsungsbogen entladen war, wurde der innere Schliefsungsbogen isolirt abgenommen und die Batterie, und, wenn ein zweiter Condensator vorhanden war, auch dieser vollständig entladen. Es blieb danach der erste Condensator mit einem Theile der Elektricitätsmenge geladen zurück, die aus der Batterie in den Schliefsungsbogen getreten war. Diese Elektricitätsmenge konnte dadurch gemessen werden, dafs man durch das Funkenmikrometer die Schlagweite des ersten Condensators suchte. Es sei diese Schlagweite d, so hat man, wenn $q_{,}$ die in den Schliefsungsbogen getretene Elektricitätsmenge bezeichnet, $d = b q_{,}$. Die Menge $q_{,}$ hängt

[723] nach der früheren Annahme von der Elektricitätsmenge q in der Batterie so ab, dafs, wenn s die Zahl der Batterieflaschen, c die der Condensatorflaschen ist, $q_{,} = \frac{0,577\, q}{\left(\frac{s}{c} + 0,577\right)}$ (§. 714.).

Man hat also für die beobachtete Schlagweite $d = \frac{b\, q}{\frac{s}{c} + 0,577}$,

wo q die Elektricitätsmenge der Batterie, und b eine aus den Versuchen zu bestimmende Constante bedeutet. Die folgende Tafel giebt die beobachteten Schlagweiten und die danach berechnete Constante b für den Fall, wo nur Ein Condensator im Schliefsungsbogen, und für den, wo hinter ihm ein zweiter eingeschaltet war.

Schlagweiten des ersten Condensators
ohne Einschaltung.

Flaschenzahl von Condensator c	Batterie s	Elektricit.-Menge q	Schlagweite beobacht. d	berechn.	Constante b
2	2	8	0,55 Lin.	0,56	
		12	0,85	0,83	
		16	1,10	1,11	
	3	8	0,40	0,42	
		12	0,65	0,63	
		16	0,85	0,84	
		20	1,05	1,05	0,1095
bei Einschaltung eines zweiten Condensators.					
2	2	8	0,30	0,29	
		12	0,45	0,44	
		16	0,62	0,59	
	3	12	0,32	0,34	
		16	0,40	0,45	
		20	0,55	0,56	
		24	0,70	0,67	0,058

724 Die Uebereinstimmung zwischen den beobachteten und berechneten Werthen der Schlagweite bestätigt die, der angewandten Formel zu Grunde liegende, Annahme einer Vertheilung der Elektricität auf Batterie und Condensator nach dem Verhältnisse ihrer Oberflächen. Die Werthe der Constante $b = 0,1095$ und $0,058$ zeigen, dafs bei einer Entladung der Batterie die in den ersten Condensator eintretende, und daher auch die im Schliefsungsbogen bewegte Elektricitätsmenge von 1 bis 0,53 sinkt, wenn hinter dem ersten Conden-

sator ein zweiter in den Schliefsungsbogen eingeschaltet wird. [724] Diese Elektricitätsmengen müssen im Schliefsungsbogen Erwärmungen hervorbringen, die ihnen proportional sind. Da nun diese Erwärmungen 1 und 0,57 gefunden worden sind (§. 722.), so sieht man, dafs die Verminderung der Elektricitätsmenge mehr als hinreicht, die Verminderung der Erwärmung durch Einschaltung eines zweiten Condensators zu erklären. Dies Ergebnifs läfst sich so ausdrücken. In dem Ausdrucke der Erwärmung im unterbrochenen Schliefsungsbogen $\Theta = \frac{a q_{,} y}{1 + b V}$, der uns, wie überall, zum Maafse des Entladungsstromes dient, wird im Allgemeinen durch Aenderung der Ladung der Batterie der Zähler, durch Aenderung des Schliefsungsbogens der Nenner geändert. Die Einschaltung eines zweiten Condensators in den Bogen, die man für eine Aenderung des Bogens ansehen könnte, hat das Eigenthümliche, dafs durch sie die in den Bogen eintretende Elektricitätsmenge $q_{,}$ verändert wird, so dafs diese Einschaltung einer Aenderung der Ladung der Batterie gleichzusetzen ist.

725 M e c h a n i s m u s d e r E n t l a d u n g i m u n t e r b r o c h e n e n B o g e n. Die beobachteten Wirkungen der Entladung in einem durch einen Condensator unterbrochenen Bogen haben sich, unter Berücksichtigung der hier vorhandenen Bedingungen, den Wirkungen im vollen Bogen so vollkommen angeschlossen, dafs bei beiden derselbe Mechanismus der Entladung vorausgesetzt werden mufs (§. 638.). Demnach ist anzunehmen, dafs jede der vielen Partialentladungen, welche die Gesammtentladung ausmachen, das dem Inneren der Batterie nächste Ende des Schliefsungsbogens elektrisch macht, und der elektrische Zustand dieses Endes alle Querschnitte des Bogens bis zum Inneren des Condensators durchläuft. Hier kommt die bewegte Elektricität zur Ruhe, aber die von ihr, durch Influenz auf die äufsere Belegung des Condensators, erregte gleichnamige Elektricität geht von da an durch den ganzen äufseren Bogen, so dafs also ein gleicher elektrischer Zustand, wie im inneren Bogen, nur mit verringerter Elektricitätsmenge, alle Querschnitte des äufseren Bogens bis zur äufseren Belegung der Batterie durchläuft. Ein gleicher Vorgang, nur mit ent-

[725] gegengesetzter Elektricitätsart und in entgegengesetzter Richtung, wird im Schliefsungsbogen von der äufseren Belegung der Batterie bis zur inneren stattfinden. Die Geschwindigkeit der Fortpflanzung des elektrischen Zustandes im Schliefsungsbogen hängt von der Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie und von der Materie des Bogens, die Dauer der Partialentladung von dieser Geschwindigkeit und von dem Querschnitte des Bogens ab, wie dies früher angegeben worden ist. Erst mit Vollendung des Ganges der Entladung durch den inneren und äufseren Bogen, und der dadurch bewirkten Wiederherstellung des Ladungszustandes der Batterie, ist die Partialentladung vollendet, so dafs ihr eine zweite Partialentladung folgen kann. Eine Verzögerung der Fortschreitung der Entladung an irgend einer Stelle des ganzen Schliefsungsbogens mufs daher die Dauer der Partialentladung, und damit die der Gesammtentladung, ebenso verlängern, als ob der Bogen voll wäre. Hiermit ist die Abhängigkeit der Wirkungen des Entladungsstromes im inneren oder äufseren Theile des Schliefsungsbogens von der Beschaffenheit des anderen Theiles um Nichts auffallender, als die Abhängigkeit der Wirkung der Entladung von jedem Theile eines vollen Schliefsungsbogens.

726 Werden mehrere Condensatoren hinter einander in den Schliefsungsbogen eingeschaltet, so durchläuft der Entladungsstrom alle einzelnen Dräthe, die entweder eine Belegung der Batterie mit einem Condensator, oder zwei Condensatoren mit einander verbinden, nur wird in den auf einander folgenden Dräthen nach der einen Richtung sich eine bei jeder Unterbrechungsstelle abnehmende Menge positiver Elektricität, in der entgegengesetzten Richtung eine abnehmende Menge negativer Elektricität fortpflanzen. Der eine an der Batterie anliegende Drath wird also die gröfste Menge positiver, die kleinste negativer Elektricität fortführen, und an dem anderen Drathe das entgegengesetzte Verhalten stattfinden. Diese Abnahme der Elektricitätsmenge ist indefs keine der Vorstellung dieses Entladungsmechanismus wesentliche Bedingung. Sie hängt offenbar von der Entfernung je zweier Condensatorscheiben von einander ab, und fällt fort, wenn wir uns diese Scheiben einander unendlich nahe gerückt denken. In diesem

Falle giebt der beschriebene Vorgang eine anschauliche Vorstellung der continuirlichen Entladungsweise (§. 647.). Lassen wir andererseits je zwei Condensatorscheiben eine endliche Entfernung von einander bewahren, geben aber der Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie eine solche Gröſse, daſs der Zwischenraum zwischen beiden Scheiben durch eine momentane Explosion durchbrochen wird, so erhalten wir den Vorgang bei der discontinuirlichen Entladung (§. 653.). Man sieht aber, daſs jeder discontinuirlichen Entladung eine Entladung mit unterbrochenem Schlieſsungsbogen vorangeht, die, wie sich gezeigt hat, alle Eigenschaften einer continuirlichen Entladung hat. Hierin findet die Aehnlichkeit, die zwischen den Gesetzen der discontinuirlichen und continuirlichen Entladung stattfindet, ihre Erklärung. Wir haben gesehen (§. 563. 65.), daſs bei dem Glühen von Dräthen verschiedener Länge die Stärke des Entladungsstromes constant blieb, wie bei der Erwärmung eines im Schlieſsungsbogen befindlichen Drathstückes zu einer bestimmten Temperatur. Ferner war das Glühen von Dräthen verschiedener Dicke daran gebunden, daſs der Entladungsstrom im Verhältnisse der Biquadrate der Radien wuchs, so daſs, wenn zum Glühen eines Drathes mit dem Radius 1 ein Strom von der Stärke 1 nöthig war, zum Glühen eines Drathes mit dem Radius 2 ein Strom 16 erfordert wurde. Dieselbe Forderung tritt ein, wenn der veränderliche Drath eine constante Temperatur behalten soll. Die Stärke des Entladungsstromes wird nämlich durch die Temperatur eines unveränderlichen Drathes bestimmt. Da sich nun die Temperaturen zweier, gleichzeitig im Schlieſsungsbogen befindlichen, Dräthe umgekehrt wie die Biquadrate ihrer Radien verhalten (nach der Formel §. 453.), so hatte im ersten Falle der veränderliche Drath die Temperatur des unveränderlichen, im zweiten Falle eine 16mal geringere. Da nun aber im zweiten Falle der unveränderliche Drath eine 16mal höhere Temperatur besaſs, als früher, so muſste die Temperatur des veränderlichen Drathes constant geblieben sein. Obgleich also das Glühen eines Drathes nur durch die discontinuirliche Entladung erklärt werden kann (§. 584.), so finden wir an ihm die angeführten Gesetze der continuirlichen Entladung wieder, was

[726]

[726] nur daher rühren kann, dafs vor dem Durchbruche der Entladung in dem veränderlichen Drathe, im übrigen Theile des Schliefsungsbogens eine continuirliche Entladung, wie bei dem dauernd unterbrochenen Bogen, stattfindet.

Der getrennte Entladungsstrom.

727 Bei den vorhergehenden Versuchen waren die Scheiben des Condensators, der den Schliefsungsbogen unterbrach, einander sehr nahe gestellt gewesen; entfernt man sie weiter von einander, so wird die Wirkung der einen Scheibe auf die andere immer kleiner und zuletzt unmerklich. Dennoch findet, bei der Entladung der Batterie, im inneren wie im äufseren Bogen ein Strom statt, den wir mit dem Namen des getrennten Stromes belegen wollen. Dieser Strom entsteht durch die allen Entladungsströmen wesentlichen Bedingungen: den Ladungszustand der Batterie und die, durch den inneren und äufseren Bogen wechselseitig erfolgende, Aufhebung und Wiederherstellung dieses Zustandes. Die Zerfällung der Gesammtentladung in die einzelnen Partialentladungen giebt auch hier Aufschlufs über den beobachteten Einflufs der Beschaffenheit jedes der beiden Bogen auf die Wirkung der Entladung. Die erste Partialentladung besteht darin, dafs der innere Bogen durch Fortführung eines Elektricitätsquantum aus dem Inneren der Batterie den Ladungszustand derselben aufhebt, und der äufsere Bogen durch Fortführung eines entsprechenden Quantum aus der äufseren Belegung diesen Zustand wiederherstellt. Erst wenn beide Dräthe unelektrisch geworden, kann die zweite Partialentladung erfolgen, so dafs die Beschaffenheit beider Bogen die Dauer der Gesammtentladung, und danach die Wirkung dieser letzten bestimmt. Die beiden Leiter, die früheren Condensatorscheiben, an den Enden der beiden Bogen haben auf die Dauer des Stromes keinen Einflufs, ihre Gröfse bestimmt aber die Menge der Elektricität, die bei der ganzen Entladung aus der Batterie entladen werden kann. Sind diese beiden Leiter in Bezug auf die Batterie sehr grofs, so wird die Batterie vollständig entladen, und man hat als-

dann dieselben Wirkungen, die sich bei Entladung der Batterie [727] durch einen vollen Bogen erhalten lassen.

728 Die innere Belegung der in den früheren Versuchen gebrauchten Batterie wurde mit der inneren Belegung des aus 5 Flaschen bestehenden Condensators verbunden, dessen äufsere Belegung isolirt blieb, während die äufsere Belegung der Batterie vollkommen zur Erde abgeleitet wurde. Die Belegungen der Batterie hatten demnach Ableitungen zu zwei Leitern, durch den inneren Drath zu einem beschränkten Leiter (dem Condensator), durch den äufseren zu einem sehr grofsen (der Erde). Ein in den inneren Drath eingeschaltetes Thermometer gab bei der Entladung der Elektricitätsmenge 16 aus 2 Flaschen der Batterie keine sichere Anzeige. Dafs dieser fehlende Erfolg aber nicht auf den Mangel eines Stromes schliefsen lasse, zeigte der folgende Versuch. Die äufsere Belegung des Condensators wurde mit der äufseren Belegung der Batterie verbunden, wie es in den früheren Versuchen der Fall gewesen war. Die Entladung der Elektricitätsmenge 16 aus 2 Flaschen gab im Thermometer eine Senkung der Flüssigkeit um 58 Lin.; sodann wurde mit dem Funkenmikrometer die Schlagweite des Condensators untersucht und 1,1 Linie gefunden. Als hingegen die äufsere Belegung des Condensators ohne Verbindung mit der Batterie blieb, betrug die Schlagweite des Condensators nach der Entladung der Batterie kaum 0,01 Linie. Diese Schlagweiten geben das Verhältnifs der, in den beiden Versuchen, in den Condensator übergegangenen Elektricitätsmengen; es konnte nach der zuletzt beobachteten Menge im Thermometer nur eine Erwärmung von $\frac{1}{2}$ Linie erwartet werden, die keine sichere Bestimmung erlaubt. Das Dasein des Stromes gab sich deutlich zu erkennen, als ein Zersetzungsapparat (§. 610.) an die Stelle des Thermometers in den inneren Bogen gesetzt war, es entstand ein Jodfleck unter der dem Inneren der Batterie zunächst stehenden Platinspitze. Der Condensator wurde nun entfernt, und das Ende des inneren Drathes, in dem sich der Zersetzungsapparat befand, isolirt zu einer isolirten Spiritusflamme geführt, der äufsere Drath hingegen zur Erde abgeleitet. Als die Batterie geladen, und der innere Drath durch den Entladungsapparat mit dem Inneren der

[728] Batterie in Berührung gesetzt wurde, war unter der nächsten Platinspitze eine reichlichere Jodausscheidung, als früher, bemerklich. Wir haben in den beiden angeführten Fällen die elektrolytische Wirkung eines Entladungsstromes, obgleich die Batterie durch zwei völlig von einander getrennte Dräthe entladen wurde. Eine thermische Wirkung konnte auch bei Anwendung der Flamme nicht erwartet werden, da diese die Elektricität zwar sehr schnell, aber nicht momentan ableitet.

729 Um von dem getrennten Entladungsstrome eine thermische Wirkung zu erhalten, verlängerte ich den Drath am Inneren der Batterie, der das Thermometer enthielt, durch einen etwa 90 Fuſs langen Kupferdrath, der isolirt zum Fenster hinaus auf den Hof des Hauses geführt, und mit seinem Ende in den Erdboden versenkt wurde. Die äuſsere Belegung der Batterie stand durch einen Kupferdrath mit den Gasröhren des Hauses in Verbindung, und diese gingen, nachdem sie etwa 150 Fuſs den Wänden entlang geleitet waren, an der Straſsenseite des Hauses in die Erde. Es wurden folgende Erwärmungen im Thermometer beobachtet:

Zahl der Batterieflaschen s	Elektricitäts-Menge q	Erwärmung beob. Θ	berechn. $\Theta = 0{,}021\frac{q^2}{s}$
4	18	2,5	1,7
	30	4,8	4,7
	40	8,5	8,4
5	30	4	3,8
	40	6,8	6,7
	50	10,2	10,5

730 Es sind also Erwärmungen beobachtet worden, die sich vollkommen gesetzmäſsig mit der angewandten Elektricitätsmenge und ihrer Dichtigkeit ändern. Der Verzögerungswerth der beiden Ableitungen, des langen Drathes und der Gasröhren, konnte nicht bestimmt werden, doch ist nicht zu übersehen, daſs die bedeutende Schwächung des Stromes, gegen einen Strom bei unterbrochenem Schlieſsungsbogen gehalten, auch durch die Endflächen verursacht wird, mit welchen die beiden Leitungen die Erdmasse berühren. Ob diese Berührung in kleinerer oder gröſserer Ausdehnung geschieht, ob sie trockenes oder feuchtes Erdreich trifft, kann nicht gleichgültig sein, da selbst bei vollem Schlieſsungsbogen das Anziehen ei-

ner Schraube, die getrennte Dräthe an einander drückt, den [730] Uebergang von Elektricität und damit die Stärke des Entladungsstromes zu befördern vermag.

Das Beispiel der thermischen Wirkung des getrennten Stromes könnte beanstandet und dafür eine andere Erklärung versucht werden. Man könnte die, einige 50 Fuſs lange, Erdschicht zwischen den Gasröhren und dem langen Drathe als Verbindungsmittel beider, und dann die Batterie als geschlossen betrachten. Aber hiermit würde die Erwärmung in den Dräthen nicht erklärt werden. Eine Betrachtung der Wirkungen der Entladung hat darauf geführt (§. 649.), daſs die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Entladung nicht von den Dimensionen, sondern von der Materie des Schlieſsungsbogens abhängt. Nun aber leitet das Erdreich auch unter den günstigsten Verhältnissen so schlecht, daſs eine geraume Zeit verflieſsen muſs, während Elektricität der oben angewandten Dichtigkeit durch 50 Fuſs Erde geht. Von dieser Zeit hängt die Dauer jeder Partialentladung und damit die ganze Entladungszeit der Batterie ab, der die Erwärmung im Schlieſsungsbogen proportional ist. Die andere Erklärung des Versuches verlangt von der eingeschalteten Erdmasse nur, daſs sie von den beiden sie berührenden Metallflächen des Schlieſsungsbogens die Elektricität aufnehme, ohne von der ferneren Verbreitung der Elektricität in der Erdmasse selbst den Entladungsstrom abhängig zu machen.

Die Entladung der Franklin'schen Batterie.

731 Die früher beschriebene Franklin'sche Batterie (§. 363.) besteht aus mehreren einzeln isolirten, gleichen oder ungleichen, leydener Flaschen, von welchen die äuſsere Belegung jeder Flasche, wie Fig. 82a. zeigt, durch einen Drath mit dem Inneren der zunächst folgenden, die äuſsere Belegung der letzten Flasche mit der Erde verbunden ist. Wir wollen jede einzelne Flasche, statt welcher auch mehrere gleichseitig verbundene Flaschen gesetzt werden können, *Element* der Batterie, das Element, dessen Inneres ohne Drathverbindung ist,

[731] *erstes Element*, die verbindenden Dräthe *Zwischendräthe* nennen. Die Ladung der Batterie wird durch Anlegen des Conductors einer Elektrisirmaschine an den Knopf des ersten Elementes bewirkt. Wird dadurch die Elektricitätsmenge $+1$ in das erste Element geführt, und bezeichnet m das Verhältnifs der Influenzelektricität dieses Elementes zur erregenden Elektricität, so geht $+m$ von seiner äufseren Belegung fort und verbreitet sich in das Innere des zweiten Elementes. Gilt das Verhältnifs m auch für das zweite und jedes folgende Element, so wird die Elektricitätsmenge $+m^2$ zur Ladung des dritten, und $+m^3$ zur Ladung des vierten Elementes verwendet, und so fort. Streng genommen, treten nicht diese Mengen, sondern geringere, in das Innere der Elemente ein; denn wenn man die Zwischendräthe untersucht, so findet man den ersten Zwischendrath stark positiv, den zweiten schwächer und so bis zum letzten Drathe, der nur eine Spur von Elektrisirung zeigt. Werden die auf dem ersten, zweiten, dritten ... Zwischendrathe zurückgebliebenen Elektricitätsmengen mit $p\ p_1\ p_2 \ldots.$ bezeichnet, so erhält das Innere des

zweiten Elementes die Menge $m-p$
dritten $m(m-p)-p_1$
vierten $m^2(m-p)-(mp_1+p_2)$
$n$ten $m^{n-2}(m-p)-(m^{n-3}p_1+m^{n-4}p_2 \ldots + mp_{n-3}+p_{n-2})$

Die äufseren Belegungen der Elemente erhalten Elektricität entgegengesetzter Art, deren Menge durch eben diese Ausdrücke, mit m multiplicirt, angegeben wird.

Die äufsere Belegung des
zweiten Elementes erhält die Menge $m(m-p)$
dritten $m^2(m-p)-mp_1$
$n$ten $m^{n-1}(m-p)-(m^{n-2}p_1+m^{n-3}p_2 \ldots + m^2p_{n-3}+mp_{n-2})$

Von den Gröfsen $p\ p_1\ p_2 \ldots p_{n-2}$ ist, wie wir oben gesehen haben, jede gröfser, als die ihr in der Reihe folgende; ihre absoluten Werthe hangen von der Form und Gröfse der Elemente und Zwischendräthe ab. Es ist leicht zu bemerken, dafs der Werth von p, also die auf dem ersten Zwischendrathe zurückbleibende Elektricitätsmenge, desto gröfser ist, aus je mehr Elementen die Batterie besteht. Man überzeugt sich hiervon, indem man Batterien aus zwei, drei und

mehr gleichen Elementen bildet und, nachdem das erste Element von allen mit derselben Elektricitätsmenge geladen worden, den ersten Zwischendrath mit einer Prüfungsscheibe untersucht. [731]

732 Die Entladung der Franklin'schen Batterie wird dadurch herbeigeführt, dafs man das eine Ende eines Schliefsungsbogens an die äufsere Belegung des letzten Elementes anlegt, und das andere Ende dem Knopfe des ersten Elementes nähert. Zwischen diesem Ende und dem Knopfe geht ein Funke über, und danach findet sich die ganze Batterie entladen, indem die Elektricität des Inneren des ersten mit der der Aufsenseite des letzten Elementes sich ausgleicht, und in jedem Zwischendrathe die beiden Elektricitätsmengen zusammentreten, die durch Influenz von einander geschieden worden waren, und sich auf die entgegengesetzten Belegungen zweier zunächst stehenden Elemente vertheilt hatten. Ist das Innere des ersten Elementes mit der Menge 1 geladen gewesen, so bewegen sich im Schliefsungsbogen die beiden Elektricitätsmengen 1 und M, und man hat nach dem vorigen Paragraphe

$$M = m^{n-1}(m-p) - (m^{n-2}p_1 + m^{n-3}p_2 \ldots + m^2 p_{n-3} + m p_{n-2})$$

worin n die Zahl der Elemente bezeichnet, aus denen die Batterie besteht, und m das Verhältnifs der beiden Elektricitäten auf den Belegungen eines Elementes, das stets kleiner als 1 ist. Die Menge M, die auf der äufseren Belegung des letzten Elementes angehäuft ist, wird demnach desto kleiner sein, je gröfser n, aus je mehr Elementen also die Batterie zusammengesetzt ist. Untersucht man die durch den Entladungsstrom hervorgebrachte Erwärmung, so findet man sie mit steigender Zahl der Elemente zunehmend, obgleich die im Schliefsungsbogen in Bewegung gesetzte Elektricitätsmenge mit dieser Zahl abnimmt. Um den Grund dieser Verstärkung des Entladungsstromes einzusehen, müssen wir auf einige frühere Erfahrungen zurückgehen.

733 Die Erwärmung im Schliefsungsbogen einer gewöhnlichen Batterie ist proportional der Elektricitätsmenge der Batterie und ihrer mittleren Dichtigkeit, vorausgesetzt, dafs die Flaschen der Batterie, deren Zahl geändert wird, gleicher Art und Gröfse, und die Flächen, zwischen welchen der Entla-

[733] dungsfunke übergeht, unverändert bleiben. Unter denselben Bedingungen ist die Schlagweite der Batterie proportional ihrer mittleren Dichtigkeit, so daſs man auch sagen kann, die Erwärmung sei proportional der Elektricitätsmenge und der Schlagweite der Batterie, wobei aber stets vorausgesetzt ist, daſs die Schlagweite allein durch die mittlere Dichtigkeit geändert werde. Nun aber kann die Schlagweite in verschiedener anderer Weise geändert werden. Zuerst geschieht dies durch veränderte Entfernung der Belegungen der Batterie, wie wir es bei einem condensirenden Apparate in Plattenform gesehen haben (§. 334.). Ferner wird die Schlagweite geändert durch Aenderung der Entladungsflächen der Batterie, so daſs z. B., wenn Scheiben an die Stelle der Kugeln gesetzt werden, zwischen welchen der Entladungsfunke übergeht, die Schlagweite gröſser gefunden wird (§. 625.). Endlich tritt auch eine Aenderung der Schlagweite ein, wenn die Ableitung der äuſseren Belegung des condensirenden Apparates geändert wird, wozu ich sogleich mehrere Beispiele geben werde. Wir wollen Schlagweiten, die in einer dieser drei Arten geändert werden, und bei welchen die mittlere elektrische Dichtigkeit der inneren Belegung des condensirenden Apparates constant bleibt, mit dem Namen *particuläre* Schlagweiten belegen.

734 Die Erwärmung im Schlieſsungsbogen ist nicht der particulären Schlagweite proportional, wie sie es der Schlagweite im engeren Sinne ist; daſs sie aber mit ihr sich in gleichem Sinne ändert, davon ist schon früher beiläufig ein Beispiel gegeben worden. Als nämlich unter sonst gleichen Bedingungen der Entladungsfunke zwischen zwei Scheiben überging, wurde die Erwärmung eines im Schlieſsungsbogen eingeschalteten Thermometers gröſser gefunden, als wenn er zwischen Kugeln überging. Es wurde dies durch die Condensation der Elektricität an den Rändern der Scheiben und die dadurch vermehrte Geschwindigkeit des Entladungsstromes erklärt (§. 439.). Derselbe Erfolg, durch dieselbe Ursache bewirkt, tritt ein, wenn die particuläre Schlagweite durch die Aenderung der Ableitung an der äuſseren Belegung einer leydener Flasche geändert wird. Es wurde eine Flasche $i_1 a_1$ (Fig. 138.) von $1\frac{1}{2}$ Quadr.-Fuſs innerer Belegung isolirt, und eine zweite Flasche i_2 auf die

isolirte Metallplatte a_2 gestellt. Die äufsere Belegung der [734] ersten Flasche wurde durch einen Drath mit der inneren der zweiten verbunden, die daher die Ableitung für jene bildete. Um die Flasche i_1 stets mit gleicher Elektricitätsmenge zu laden, wurde eine Maafsflasche mit der isolirten Platte a_2 verbunden. Bei der Ladung der Flasche i_1 mit positiver Elektricität, ging die positive Influenzelektricität ihrer äufseren Belegung in die Flasche i_2, und wurde durch die Funken der Maafsflasche gemessen. Zu der ableitenden Flasche i_2 wurden successiv gleiche Flaschen hinzugesetzt, deren äufsere und innere Belegungen mit den Belegungen jener verbunden waren. Je mehr Flaschen auf die Platte gestellt waren, desto gröfser war ersichtlich die Ableitung der äufseren Belegung der Flasche i_1. Man kann sich mit einer Prüfungsscheibe davon überzeugen, dafs, je gröfser jene Ableitung war, desto weniger Elektricität auf dem Zwischendrathe $a_1 i_2$ und dem Knopfe i_1 der ersten Flasche angehäuft blieb. Die erste Flasche mufste daher auch eine desto kleinere Schlagweite haben. Es wurde nun ein Schliefsungsbogen an a_2 und i_1 angelegt, in den ein elektrisches Thermometer eingeschaltet war. Bei gleicher Ladung der ersten Flasche und verschiedener Zahl der Flaschen auf der Platte, die ihr zur Ableitung dienten, wurden die folgenden Erwärmungen beobachtet.

Zahl d. Flaschen d. Ableitung.	Erwärmung.	
1	23,8	24,0
2	19,0	18,3
3	17,3	17,0
4	16,2	16,5

Mit zunehmender Ableitung der äufseren Belegung einer Flasche nimmt also die Erwärmung ab, die ihre Entladung im Schliefsungsbogen erregt.

735 Die Ableitung einer leydener Flasche kann auch dadurch bewirkt werden, dafs man ihre äufsere Belegung mit der inneren einer zweiten Flasche, die äufsere Belegung der letzteren mit der inneren einer dritten Flasche und so fort verbindet, oder in anderen Worten, dafs man die erste Flasche zum ersten Elemente einer Franklin'schen Batterie macht. Wir

[735] haben gesehen, daſs, aus je mehr Elementen die Batterie besteht, desto stärker der erste Zwischendrath elektrisch ist (§. 731.), woraus sogleich folgt, daſs desto kleiner die Ableitung des ersten Elementes sein müsse. Es läſst sich leicht zeigen, daſs die Schlagweite dieses Elementes mit der Zahl der Elemente wächst. Es wurden 4 gleiche leydener Flaschen, jede von $1\frac{1}{2}$ Quadr.-Fuſs innerer Belegung, einzeln isolirt, und durch 3 Zwischendräthe (jeder von ihnen 21 Zoll lang, $\frac{7}{12}$ Lin. dick) zu einer Franklin'schen Batterie verbunden (Fig. 139.). Die äuſsere Belegung des vierten Elementes a_4 war mit einer Maaſsflasche in Verbindung gesetzt, und das erste Element so lange geladen, bis eine bestimmte Anzahl Funken an der Maaſsflasche übergegangen war. Danach konnte man 1 bis 3 Elemente von dem ersten Elemente trennen, und so eine Batterie von 1 bis 4 Elementen erhalten, in welchen das erste Element genau dieselbe Ladung hatte. Leichter erhält man dies, wenn man die Batterie von 4 Elementen ungetrennt läſst, und den, vollkommen zur Erde abgeleiteten, Schlieſsungsbogen an eine der äuſseren Belegungen anlegt. Legt man ihn an a_2, so hat man eine Batterie mit 2 Elementen, an a_3 mit 3 Elementen, ohne daſs die nicht benutzten Elemente den Erfolg der Entladung stören. Die Schlagweite dieser Batterie wurde durch ein Funkenmikrometer geprüft, indem entweder durch successives Versuchen die Kugeln des Mikrometers in eine solche Entfernung gestellt wurden, daſs zwischen ihnen, beim Niederfallen des Entladungsapparates, ein Funke erschien, oder leichter, indem die eine Kugel durch einen Drath mit der inneren Belegung des ersten Elementes, die andere mit der äuſseren Belegung des letzten verbunden wurde, und man durch Nähern der Kugeln die Entladung herbeiführte. Die folgenden Werthe sind auf die zweite Art erhalten worden.

Zahl d. Elemente d. Batterie.	Schlagweite in Linien.		Verhältniſs der Mittel.
1	0,3	0,3	1
2	0,85	0,95	3
3	1,4	1,4	4,7
4	2,2	2,3	7,5

Aus der schnellen Zunahme der Schlagweite des ersten [735] Elementes mit der Zahl der Elemente ist beiläufig zu ersehen, daſs es keinen Vortheil gewährt, bei der Ladung einer Batterie die Franklin'sche Anordnung der Flaschen statt der gewöhnlichen zu benutzen (§. 353.). Die Ladung einer Batterie läſst sich desto leichter steigern, je kleiner die bereits gewonnene Schlagweite ist. Wären die hier benutzten 4 Elemente auf gewöhnliche Weise zu einer Batterie verbunden gewesen, so hätten sie, mit gleicher Elektricitätsmenge geladen, die Schlagweite 1 besessen, während hier eine Schlagweite 7,5 erreicht worden ist, die bei fernerer Ladung zu überwinden war. Man bedarf daher einer längeren Zeit und einer viel gröſseren Wirksamkeit der Elektrisirmaschine, um mit gleicher Elektricitätsmenge Flaschen zu laden, die auf die Franklin'sche Weise, als wenn sie in der gewöhnlichen Weise mit einander verbunden sind.

736 Im vorigen Paragraphe ist gefunden worden, daſs bei einer Franklin'schen Batterie von 1 bis 4 Elementen die Schlagweite von 1 bis 7,5 zunimmt. Dies bestimmte Verhältniſs ist aber keineswegs gültig für alle Batterien, die, wie hier, aus gleichen Elementen und gleichen Zwischendräthen zusammengesetzt sind. Wie sich früher gezeigt hat, daſs die Veränderung der Schlagweite durch veränderte Entfernung zweier Condensatorscheiben verschieden ist nach der absoluten Gröſse der Scheiben und der Lage des Ableitungsdrathes (§§. 326. 27.), so ist bei der Franklin'schen Batterie die Zunahme der Schlagweite mit der Zahl der Elemente abhängig von der Gröſse und Beschaffenheit jedes einzelnen Elementes, und von der Länge und Form der Zwischendräthe. Es läſst sich daher im Allgemeinen nur sagen, daſs die Schlagweite mit der Zahl der Elemente der Franklin'schen Batterie zunehmen werde. Durch diese Zunahme wird die in §. 732 erwähnte Verstärkung der Erwärmung im Schlieſsungsbogen mit zunehmender Zahl der Elemente hervorgebracht. Es wurde in den Schlieſsungsbogen der im vorigen Paragraphe gebrauchten Batterie ein elektrisches Thermometer eingeschaltet, der Schlieſsungsbogen successiv an a_1 a_2 a_3 a_4 angelegt,

[736] und nach gleicher Ladung der Batterie die Erwärmung in 3 Versuchsreihen beobachtet.

Zahl d. Elemente d. Batterie.	Erwärmung.			Verhältnifs d. Mittel.
1	7,5	7,4	7,7	1
2	12,8	11,9	12,8	1,7
3	15,4	15,3	15,8	2,0
4	21,6	22,3	21,4	2,9

Die Erwärmung nimmt mit der Zahl der Elemente zu, aber in geringerem Verhältnisse, als die Schlagweite, bei 1 bis 4 Elementen von 1 bis 2,9. Dies Verhältnifs gilt zwar nur für die hier angewandte Batterie, ist aber jedenfalls kleiner, als das der gebrauchten Elemente. Es folgt daraus im Allgemeinen: Die Erwärmung im Schliefsungsbogen einer Franklin'schen Batterie nimmt mit der Zahl ihrer Elemente zu, das Gesetz der Zunahme wird durch die Art und Gröfse der Elemente und der Zwischendräthe bestimmt.

737 Die Franklin'sche Batterie, die uns den Einflufs der particulären Schlagweite auf die Erwärmung gezeigt hat, liefert ferner eine Bestätigung eines früher ausgemachten, sehr wichtigen Satzes. Wir wissen, dafs im vollen Schliefsungsbogen die Dauer der Entladung von der Beschaffenheit (den Dimensionen und der Materie) des Bogens abhängt, im dauernd unterbrochenen Bogen von der Beschaffenheit des inneren und des äufseren Drathes. In der Franklin'schen Batterie erstreckt sich diese Abhängigkeit auch auf die Beschaffenheit der Zwischendräthe. Die in §. 736 gebrauchte Anordnung der Batterie wurde in der Art geändert, dafs zum ersten Zwischendrathe $a_1\ i_2$ ein Platindrath von 116 Linien Länge, Radius 0,0185 Lin. hinzugesetzt wurde. Die Entladung einer gleichen Elektricitätsmenge, wie früher, gab am Thermometer im Schliefsungsbogen die folgenden Erwärmungen.

Zahl d. Elemente d. Batterie.	Erwärmung.		
1	7,5	7,3	7,5
2	7,8	7,3	7,9
3	11,0	11,5	11,0
4	13,2	14,0	13,6

[737] Bei den Erwärmungen der ersten Zeile war der Schliefsungsbogen an a_1 angelegt und kein Zwischendrath vorhanden, sie sind daher von den in §. 736 gefundenen nicht verschieden. Die übrigen Erwärmungen sind hingegen bedeutend kleiner als dort, weil der erste Zwischendrath durch den zugesetzten Platindrath einen gröfseren Verzögerungswerth erhalten hatte. Durch den Zwischendrath konnte weder Menge noch Dichtigkeit der Elektricität geändert werden, die sich im Schliefsungsbogen bewegte; die verminderte Erwärmung ist nur aus dem früher aufgestellten Satze zu erklären, nach welchem jede Partialentladung im Schliefsungsbogen erst vollendet ist, wenn im entladenen Körper der Ladungszustand wieder hergestellt worden (§. 725.). Da hier die Wiederherstellung des Ladungszustandes des ersten Elementes durch den ersten Zwischendrath bewirkt wird, so mufs die Beschaffenheit dieses Drathes die Dauer jeder Partialentladung, und damit auch die Dauer der Gesammtentladung bestimmen. In gleicher Weise hat die Beschaffenheit der übrigen Zwischendräthe Einflufs auf die Entladungsdauer des Stromes, da die Vereinigung der Elektricitäten im ersten Zwischendrathe von der Vereinigung der Elektricitäten in den übrigen Dräthen abhängig ist.

738 Die Vereinigung der getrennten Influenzelektricitäten in jedem Zwischendrathe bringt gleiche Wirkungen hervor, wie die Bewegung der Elektricität im Schliefsungsbogen, und da jene in einzelnen, mit den Partialentladungen zusammenfallenden, Pulsen geschieht, so müssen die Wirkungen von der Beschaffenheit sowol des Schliefsungsbogens, als der Zwischendräthe, abhangen. Dafs auch in einem Zwischendrathe die Erwärmung mit der Zahl der Elemente der Batterie zunehmen mufs, sieht man sogleich. Untersucht man z. B. die Erwärmung im ersten Zwischendrathe $a_1\, i_2$ einer Batterie aus 4 Elementen (Fig. 139.), so hat, bei Anlegung des Schliefsungsbogens an a_4, der Knopf i_2 eine gewisse Dichtigkeit, die gröfser sein mufs, als wenn der Bogen an a_3 oder a_2 angelegt wird, weil die Ableitung des zweiten Elementes desto schlechter ist, je entfernter davon der Bogen angelegt wird. Die Schlagweite und die Erwärmung im ersten Zwischendrathe wird daher zu-

[738] nehmen mit der Zahl der von der Batterie zur Entladung benutzten Elemente. Dies wurde durch die folgenden Versuche bestätigt. Das Funkenmikrometer wurde in dem Drathe a_1 i_2 der früher gebrauchten Batterie angebracht, die Lücke zwischen den Kugeln des Mikrometers durch ein Drathstück ausgefüllt, das an einem isolirenden Handgriffe abgenommen wurde, wenn die Batterie ihre bestimmte Ladung erhalten hatte. Die Entladung der Batterie wurde durch einen Schliefsungsbogen bewirkt, der, wie früher, den Knopf i_1 mit der äufseren Belegung a_2, a_3 oder a_4 verband. Die Belegung a_1 konnte begreiflich hier nicht benutzt werden. Durch successives Versuchen wurde die gröfste Entfernung der Mikrometerkugeln bestimmt, bei welcher zwischen ihnen ein Funke überging, während die Batterie durch den Schliefsungsbogen entladen wurde.

Zahl der Elemente der Batterie	2	3	4
Schlagweite im Zwischendrathe	0,9 Lin.	1,4	2,2

An die Stelle des Mikrometers wurde hierauf das Thermometer gesetzt, durch dessen Drath der Zwischendrath stets geschlossen blieb, so dafs der provisorische Drath nicht angewendet zu werden brauchte. Es wurden folgende Erwärmungen beobachtet.

Zahl der Elemente der Batterie	2	3	4
Erwärmung im Zwischendrathe	4	5,5	7,7

Die Schlagweite und Erwärmung im Zwischendrathe nimmt also, wie im Schliefsungsbogen, mit der Zahl der Elemente der Batterie zu. Dafs die Erwärmungen hier so gering waren, rührt davon her, dafs nur eine sehr kleine Elektricitätsmenge zur Ladung der Batterie benutzt werden konnte, weil die Ansätze des Thermometers die Elektricität des Zwischendrathes bei gröfserer Menge ausströmen liefsen. Um eine gröfsere Ladung geben zu können, mufs man gröfsere Flaschen anwenden, oder jedes Element aus mehreren mit einander verbundenen Flaschen bilden.

Viertes Kapitel.

Die elektrischen Zeichnungen.

Es sind noch einige Wirkungen der elektrischen Entladung übrig, die ich auf dieses Schlufskapitel verspart habe, theils, weil sie, ihrer gemischten Art wegen, unter keinen der früheren Abschnitte zu bringen waren, theils, weil sie unter einander im Zusammenhange stehen. Diese Wirkungen zeigen sich in eigenthümlichen regelmäfsigen Spuren, welche die Entladung auf glatten Flächen zurückläfst, die wesentlich von jenen Spuren unterschieden sind, in welchen sich eine einfache mechanische oder chemische Wirkung der Entladung kund giebt. Spuren der letzten Art sind bereits vorgekommen (§. 553.) in den matten Furchen, welche die Entladung in harte Gläser oder Steine gräbt, und sind ferner zu erhalten, wenn man ein Fleischstück, ein grünes Blatt, eine feuchte thierische Membran in den Schliefsungsbogen einer Batterie einschaltet; die Substanzen werden durch die Entladung aufgerissen, und zuweilen durch Zersetzung ihrer Flüssigkeiten farbig gestreift. Die in dem Folgenden betrachteten Spuren sind durch eine regelmäfsige, für jede Art besondere, Bildung, einige von ihnen auch durch den Umstand charakterisirt, dafs sie nicht unmittelbar gesehen werden, sondern erst durch ein eigenes Verfahren sichtbar gemacht werden müssen. Wir wollen sie im Allgemeinen mit dem Namen: elektrische Zeichnungen belegen, und unter diesen die Figuren von den Bildern unterscheiden. Wird die Ausdehnung der Zeichnung durch die Entladung selbst gegeben, so entsteht eine elektrische *Figur*, hingegen ein elektrisches *Bild*, wenn man die Ausdehnung willkürlich vorherbestimmt, indem man die Entladung durch eine mit erhabenen Zügen versehene Metallplatte (das Modell) einleitet. In dem elektrischen Bilde wird oft das Modell mit einer grofsen Schärfe wiedergegeben. Die elektrischen Zeich-

739

[739] nungen zerfallen in zwei wesentlich verschiedene Gruppen. Bei der ersten Gruppe bleibt auf der Platte Elektricität zurück, welche die Zeichnung bildet, diese sollen *primär elektrische Zeichnungen* heifsen; sie sind nicht unmittelbar sichtbar. Die Zeichnungen der zweiten Gruppe, die *secundär elektrische Zeichnungen* genannt werden, entstehen durch eine, durch die Entladung hervorgebrachte, Aenderung der Oberfläche der angewandten Platte; einige von ihnen sind unmittelbar sichtbar, andere müssen erst sichtbar gemacht werden. Das Historische über den Gegenstand ist in meiner Abhandlung: über elektrische Figuren und Bilder zu finden [1]).

Die primär elektrischen Zeichnungen.

Die Staubfiguren,

740 auch Lichtenberg'sche Figuren nach ihrem Erfinder genannt, werden erhalten, wenn man mit dem Knopfe einer stark geladenen leydener Flasche eine isolirende Fläche berührt, die berührte Stelle mit einem feinen Staube bestreut, und den überflüssigen Theil davon abschüttelt, oder auch, wenn man Tabacksrauch gegen die berührte Stelle bläst. Ist die Flasche mit positiver Elektricität geladen gewesen, so ordnet sich der Staub zu einer Sonnenähnlichen Figur mit ausfahrenden Strahlen, war sie es mit negativer, zu einer strahlenlosen Scheibe. Der Unterschied der äufseren Begränzung der Figur nach der Art der angewandten Elektricität ist so grofs, dafs keine Verwechselung stattfinden kann. Die Figuren entstehen durch Elektricität, die von der geladenen Flasche auf die isolirende Fläche übergegangen ist, und dort auf das leichte Pulver anziehend wirkt. Die Anwesenheit von Elektricität wird durch Anlegen der Platte an ein Elektroskop nachgewiesen, und die Nothwendigkeit dieser Elektricität zur Entstehung der Figur dadurch, dafs man die Platte, nach der Berührung mit dem Knopfe der Flasche, über eine Flamme fortführt und dadurch unelektrisch macht (§. 42.). Alsdann zeigt das aufgebrachte

[1]) Abhandlungen d. Akad. d. Wissensch. 1846.

Pulver, daſs keine Figur auf der Platte vorhanden ist. — Die [740] Untersuchung der Figuren wird erleichtert, wenn man den Staub selbst zu einem Elektroskope macht, indem man ihn in bestimmter Art elektrisirt und dann auf die Platte bringt. Ist der Staub positiv elektrisch, so werden die Stellen der Platte, an welchen er angehäuft wird, als negativ elektrische, die Stellen, welche von ihm frei bleiben, als positiv elektrische bezeichnet.

741 Zur Bildung der Staubfiguren ist erforderlich, daſs die Platte, auf der sie entstehen sollen, isolirend genug sei, um Elektricität von der Entladung zurückzuhalten, und der aufgetragene Staub fein und beweglich genug, um von dieser Elektricität bewegt zu werden. Es sind daher Platten und Pulver von sehr verschiedenen Stoffen dazu tauglich. Am besten wird eine Platte aus schwarzem Pech angewendet, deren Oberfläche durch Erwärmung leicht spiegelglatt herzustellen und zu erneuern ist. Um einen elektrisirten Staub zu erhalten, siebt man Kolophonpulver oder Schwefelblumen durch dichtes Leinenzeug auf die Platte. Harz und Schwefel werden durch die Reibung gegen die Fäden des Zeuges stark negativ elektrisch, und bedecken daher die positive Staubfigur, die negative Figur bleibt von ihnen frei, und wird auf dem bestäubten Grunde kenntlich. Man kann sich auch des *Semen lycopodii* zum Bestäuben bedienen, das, durch Linnen gesiebt, schwach positiv elektrisch wird, und beide Arten von Figuren, die negativen etwas stärker, bedeckt. Am belehrendsten ist aber die Bildung der Staubfiguren durch Bestäuben der Platte mit einem Gemenge von Mennige und Schwefelblumen, das zuerst Villarsy zu diesem Zwecke benutzt hat [1]). Bei dem Durchsieben des Gemenges durch Musselin wird die Mennige positiv, der Schwefel negativ elektrisch, man erhält daher stets bedeckte Staubfiguren, und zwar werden die *positiven* Stellen der Platte von dem Schwefel bedeckt und erscheinen *gelb*; die *negativen* von der Mennige, und erscheinen *roth*.

---

[1]) *Journal. génér. de France* 1788. Voigt Magazin für das Neueste der Physik* VIII_4. 176.

742 Dies Pulvergemenge ist ein sehr empfindliches Elektroskop, und zeigt, dafs die positive Figur stets mit negativen elektrischen Stellen, die negative mit positiven vermischt ist. Wie nämlich auf einem Glasstabe, dem man an einer Stelle eine Elektricitätsart mitgetheilt hat, sich dicht neben jener Stelle keine Elektricität, und weiterhin die entgegengesetzte Art vorfindet (§. 179.), so ist jeder Theil einer Staubfigur an ihrer Begränzung von einer unelektrischen Zone umgeben, der eine entgegengesetzt elektrische Zone folgt. Zwischen den gelben Strahlen der positiven Staubfigur treten auf unbestäubtem Grunde rothe Strahlen auf, und um die rothe Scheibe der negativen Figur zieht sich ein breiter unbestäubter Gürtel, der von einem, oft sehr scharfen, gelben Ringe eingefafst ist. Wo diese durch Influenz hervorgerufenen Zeichnungen nur an der äufseren Begränzung der Figur erscheinen, sind sie leicht von der ursprünglichen Figur zu unterscheiden, schwerer ist dies, wenn sie innerhalb der Figur auftreten. Letzteres ist der Fall, wenn man den Leiter, durch welchen auf die Platte Elektricität gebracht wird, vor dem Abheben entladet, oder die Elektrisirung durch eine Spitze bewirkt. Die inneren durch Influenz erzeugten Figuren sind daher leicht zu vermeiden; was die äufseren betrifft, so werde ich im Folgenden auf sie keine Rücksicht nehmen, und die Angabe der Form, Farbe und Ausdehnung nur auf die Hauptfigur beziehen.

743 Die Staubfiguren sind desto ausgedehnter, je gröfser die Elektricitätsmenge ist, die sie bildet. Die positive Staubfigur ist dabei stets mit Zacken und Strahlen begränzt, die negative rundet sich stets nach Aufsen ab, und dieser Unterschied erhält sich bei allen Verwickelungen und Verzerrungen der Figuren. Aber aufser durch die Form, sind die Figuren auch durch ihre Ausdehnung unterschieden, indem die positive Figur einen viel gröfseren Raum einnimmt, als die negative, wenn beide von derselben Menge von Elektricität erzeugt sind. Um das Verhältnifs dieser Räume annähernd zu bestimmen, mufste ich die Figuren mit besonderer Sorgfalt bilden. Quadratische Metallplatten von $1\frac{3}{4}$ Zoll Seite, $\frac{1}{4}$ Linie Dicke, wurden entweder auf einer oder auf beiden Flächen mit einer dünnen Lage schwarzen Peches versehen; ich werde diese Platten als

einfache und doppelte Pechplatten unterscheiden. An dem [743] Funkenmikrometer (§. 330.) wurden die Kugeln abgenommen und dafür spitze Kegel aufgesetzt; die feine Bewegung wurde durch Lüftung der unteren Schraube gelöst. Ich befestigte eine Pechplatte vertical, so dafs eine ihrer Flächen von einer Spitze des Mikrometers normal berührt wurde, und rückte dann den Schlitten mit der Hand bis zur Berührung der anderen Fläche durch die zweite Spitze. Die eine Spitze erhielt eine vollkommene Ableitung, die andere blieb isolirt, an die letztere wurde der Knopf einer geladenen Flasche angelegt, dann die Spitze abgerückt, die Pechplatte entfernt, horizontal gelegt, mit dem Pulvergemenge bestäubt, und endlich das überflüssige Pulver durch Klopfen gegen die Rückseite der Platte entfernt.

744 Bei der letzteren Verrichtung tritt häufig eine bemerkenswerthe Erscheinung ein. Geschieht das Entfernen des überflüssigen Staubes durch kurze stärkere Schläge, so werden auf der bestäubten Pechfläche, aufser der elektrischen Figur, sehr zierliche, von Staub entblöfste Sterne sichtbar, die in der Form der einfachen positiven Figur gleichen. Diese Sterne haben keinen elektrischen Ursprung. Das auf dünnen Blechen geschmolzene Pech erkaltet schnell, bleibt in einem Zustande von Spannung, und hat dadurch, wie Unverdorben [1]) gezeigt hat, die Eigenschaft, von einer verletzten Stelle aus radial aufzureifsen. Hat ein Schlag die Pechschicht an einer Stelle von dem unterliegenden Bleche gelöst, so verbreitet sich der Sprung sternförmig, und die dadurch hervorgebrachte Erschütterung schleudert den auf der freien Pechfläche haftenden Staub sternförmig ab, häufig ohne sichtbare Verletzung dieser Fläche. Wenn man Pechplatten mit dickerer Metallunterlage anwendet (Bleche von ½ Lin. Dicke), so erhält man, auch durch absichtlich starke Schläge, die beschriebenen Sterne nicht. Hier hatte das Pech bei langsamerem Erkalten Zeit, sich zusammenzuziehen, und eine festere Textur anzunehmen.

---

[1]) Poggend. Ann. 13. 411.

745 Das Verhältnifs der Flächenräume beider Staubfiguren kann so ausgemacht werden, dafs man eine Flasche successiv mit genau derselben Menge positiver und negativer Elektricität ladet, und mit ihrem Knopfe auf einer einfachen Pechplatte die Figuren bildet. Leichter und sicherer wurde dies Verhältnifs in folgender Weise bestimmt. Eine doppelte Pechplatte wurde zwischen den Spitzen des Funkenmikrometers, und gegen sie normal, aufgestellt. Die isolirte Spitze wurde mit dem Knopfe einer, mit negativer Elektricität geladenen, Flasche berührt, und dann isolirt von der Pechfläche entfernt. Die von dieser Spitze berührte Fläche (die Vorderfläche) zeigte bestäubt die rothe negative Scheibe, die Hinterfläche des Pechs hingegen die gelbe positive Sonne. Es hatte nämlich, wie auf dem Kuchen eines Elektrophors (§. 299.), die auf die Vorderfläche gebrachte negative Elektricität auf der Hinterfläche durch Influenz beide Elektricitäten erregt, und von diesen war die negative durch die abgeleitete Spitze entladen worden. Es wurden in 4 Versuchen folgende Maafse gefunden:

Durchmesser d. negativen	d. positiven Figur.	Verhältnifs.	
4,5 Millim.	10,0	2,2	
4,5	9,4	2,1	
3,4	7,5	2,2	
4,7	10,1	2,1	Mittel 2,15

Nachdem die Pechplatte gereinigt und zwischen den Spitzen des Mikrometers befestigt war, wurde die isolirte Spitze mit dem Knopfe einer, zu einem beliebigen Grade positiv geladenen Flasche berührt. Durch die Bestäubung entstand auf der Vorderseite der Platte die positive, auf der Rückseite die negative Staubfigur.

Durchmesser d. negativen	d. positiven Figur.	Verhältnifs.	
4,0 Millim.	13,4	3,3	
3,0	10,3	3,4	
3,8	13,0	3,4	
3,4	10,7	3,2	Mittel 3,34

746 Aus diesen beiden Versuchsreihen läfst sich das Verhältnifs der Flächenräume berechnen, welche die beiderartigen Figuren einnehmen würden, wenn sie von gleicher Elektricitätsmenge erzeugt werden. Es nehme die durch die Einheit der Elektricitätsmenge erzeugte positive Figur den Flächenraum p ein, die durch dieselbe Menge erzeugte negative den Raum n. Dieser Raum verändere sich proportional der $x$ten Potenz der Elektricitätsmenge. Ferner bezeichne m das, durch die Dicke der Pechplatte bestimmte, Verhältnifs der Influenzelektricität zur erregenden. In dem ersten Versuche des vorigen Paragraphs verhielt sich demnach die negative Elektricität auf der Platte zur positiven wie 1 zu m, in dem zweiten wie m zu 1. Man hat also $\frac{p m^x}{n} = (2{,}15)^2$ und $\frac{p}{m^x n} = (3{,}34)^2$ und daraus $\frac{p}{n} = 2{,}15 \times 3{,}34 = 7{,}18$. Durch gleiche Elektricitätsmenge und unter sonst gleichen Umständen erzeugt, verbreitet sich also die positive Staubfigur über einen nahe 7mal so grofsen Flächenraum, als die negative.

747 Das bisher beobachtete Verfahren, die Staubfiguren zu bilden, liefert sie am schönsten und belehrendsten. Man kann sie aber auch erzeugen, wenn man die Platte mit einem isolirenden, nicht elektrisirten Pulver bedeckt, die Spitze einer Metallnadel normal auf die Platte setzt, und die Nadel mit dem Knopfe einer geladenen Flasche berührt. Es geht dann ein Theil der angebrachten Elektricität auf die Platte, ein anderer auf das Pulver über, so dafs Figur und Pulver gleichartig elektrisch werden, und letzteres von der Figur abgestofsen wird. Lichtenberg nennt die auf diese Art gebildeten Figuren vertiefte; sie stehen den früher beschriebenen Figuren an Schärfe bedeutend nach, wozu auch der bei der Entladung von der Spitze ausgehende Luftstrom (§. 694.) beiträgt, der einen Theil des aufgestreuten Pulvers fortbläst. Selten gelingt es, eine deutliche negative Figur zu erhalten, wogegen die, durch ihre Zacken charakterisirte, positive Figur gewöhnlich erkennbar hervortritt. Wiedemann hat diese Figuren auf verschiedenen Unterlagen gebildet, und dabei fol-

[747] gende merkwürdige Erfahrung gemacht [1]). Wird eine Glas- oder Pechfläche, oder die Fläche eines zum regulären Systeme gehörigen Krystalles, wie Alaun, Flufsspath, mit *Semen lycopodii* bestreut, und berührt man eine normal auf der Fläche stehende Metallnadel mit dem Knopfe einer positiv geladenen Flasche, so entsteht, durch Entblöfsung der Fläche vom Staube, eine Figur, deren Strahlen von der Nadelspitze aus merklich gleich lang sind. Ist hingegen zu dem Versuche ein nicht zum regulären Systeme gehöriger Krystall angewendet worden, z. B. Gyps, so sind die Strahlen in einer Richtung am längsten, in der senkrecht darauf stehenden am kürzesten. Die Figur ist also im ersten Falle kreisförmig, im zweiten elliptisch. Die Kreisform lehrt, dafs die Leitung der Elektricität in allen Richtungen der Platte gleich gut, die elliptische Form, dafs sie ungleich sei, und zwar giebt die grofse Axe der Ellipse die Richtung der besten Leitung an. Wiedemann hat in dieser Weise mehrere Krystalle untersucht und gefunden, dafs einige Krystalle, die zu den optisch negativen gehören, in der Richtung ihrer krystallographischen Axe die Elektricität am besten leiten, andere Krystalle, die, mit Ausnahme des Feldspaths, zu den optisch positiven gehören, hingegen am besten in der Richtung leiten, die auf ihrer Axe senkrecht steht. Ich habe diese Krystalle bereits §. 27 aufgeführt. Der Feldspath zeigte auch darin ein von den übrigen Krystallen abweichendes Verhalten, dafs die Figur nicht von Staub frei war, sondern erst durch Abschütteln erkennbar wurde, indem der Staub strahlenförmig festgedrückt blieb.

748 Die Staubfiguren sind sehr merkwürdig durch die verschiedene Abformung, die sie je nach der angewandten Elektricitätsart erhalten. Man hat diese Verschiedenheit erklären wollen durch ein ungleiches Leitungsvermögen der Luft in Bezug auf beide Elektricitäten, eine Annahme, der directe Versuche widersprechen (§. 99.). Sollte man in der isolirenden Platte selbst das ungleiche Leitungsvermögen suchen wollen, so wird dies durch unten anzuführende Versuche wi-

[1]) Poggend. Ann. 76. 404.

derlegt (§. 756.). Die folgenden Versuche machen es wahr- [748] scheinlich, daſs die Formverschiedenheit der Staubfiguren hervorgebracht wird durch eine eigenthümliche Wirkung der Entladung. Eine leydener Flasche, auf deren Knopf eine Kugel von 4 Zoll Durchmesser aufgesetzt war, wurde mit positiver Elektricität geladen und horizontal auf einem Blocke befestigt; unter und neben der Kugel wurden einfache Pechplatten befestigt in einer solchen Entfernung, daſs auf sie kein Funke übergehen konnte. Als nach 30 bis 70 Minuten die Platten abgenommen und mit dem Pulvergemenge bestäubt wurden, wurde eine Menge rundlicher gelber Flecke sichtbar, die keine Spur einer strahligen Begränzung zeigten. War die Flasche mit negativer Elektricität geladen gewesen, so erschienen die Flecke roth, sonst aber den früheren völlig gleich. Hier waren also durch beide Elektricitäten, die von der Flasche zu den Pechplatten übergegangen waren, Staubzeichnungen ohne Formverschiedenheit gebildet worden. Als hingegen der Knopf der Flasche unmittelbar an die Pechplatte angelegt wurde, erhielt man durch die Bestäubung die nach der Elektricitätsart der Flasche charakterisirte Staubfigur. Beide Arten der Entladung der Flasche sind aber sehr verschieden. In dem ersten Versuche ging Elektricität durch continuirliche Entladung (Zerstreuung) an die Platte, in dem zweiten durch eine discontinuirliche Entladung (§. 653.). Dieser merkwürdige Zusammenhang zwischen der Art der Entladung und der Art der dadurch gebildeten Staubzeichnung findet sich überall bestätigt. Führt man von einer trockenen Säule Elektricität allmälig auf eine Pechplatte, so entstehen nur Staubflecke (§. 753), es wird aber niemals dabei die mit der discontinuirlichen Entladung verbundene Lichterscheinung merklich. In einem stark luftverdünnten Raume, in welchem die zu einer discontinuirlichen Entladung nöthige Anhäufung von Elektricität verhindert wird, entstehen keine Staubfiguren. Lichtenberg erzeugte Staubfiguren in einem Raume, in dem die Luft wenig verdünnt war, und sah den Unterschied zwischen positiver und negativer Figur geringer werden. Wir sind daher zu der Folgerung berechtigt, daſs die Staubfiguren nur dann in der charakteristisch unterschiedenen Weise entstehen, wenn

[748] Elektricität *durch eine discontinuirliche Entladung* an eine isolirende Platte gekommen ist.

749 Die Wirkung der discontinuirlichen Entladung auf ein flüssiges oder luftförmiges Medium besteht darin, daſs das Medium zusammengedrückt und zerrissen wird, und Theile davon mit Heftigkeit nach allen Seiten geschleudert werden. Wir werden sehen, daſs die Platten, auf welchen die Staubfiguren entstehen, mit einer fremden, aus Niederschlägen aus der Atmosphäre gebildeten, Schicht bedeckt sind, die durch die discontinuirliche Entladung theilweise aufgerissen und entfernt wird (§. 762.). Nimmt man nun an, daſs diese Schicht zum Theil aus condensirtem Wassergase besteht, so folgt, daſs bei der Bildung der Staubfiguren feuchte Luft gegen die isolirende Platte getrieben wird. Die Wirkung eines solchen Luftstromes auf die Platte ist von Faraday untersucht worden. Als derselbe comprimirte, nicht getrocknete, Luft gegen Holz oder Messing strömen lieſs, wurden diese negativ elektrisch [1]). Die feuchte Luft verhielt sich ganz so, wie feuchter Wasserdampf, mit welchem Faraday eine ausgedehntere Versuchsreihe angestellt hatte, bei der 30 verschiedene Stoffe gebraucht wurden, unter welchen sich Seide, Harze, Schwefel, Glas, Bergkrystall befinden. Alle diese Stoffe wurden durch den feuchten Dampfstrom, der sie bestrich, *negativ elektrisch*. Unter der obigen Annahme wird also eine Platte aus beliebigem Stoffe dadurch, daſs eine discontinuirliche elektrische Entladung sie trifft, negativ elektrisch, und die von der Entladung übrigbleibende Elektricität hat sich auf einer Fläche zu verbreiten, die zuvor negativ elektrisch gemacht worden ist. Nothwendig wird die Verbreitung und davon abhängige Anordnung der überschüssigen Elektricität eine andere sein, wenn diese Elektricität positiver, als wenn sie negativer Art ist; sie wird sich im ersten Falle leichter und weiter verbreiten. Wir haben gesehen (§. 746.), daſs der von der positiven Figur auf der Platte eingenommene Raum nahe 7mal so groſs ist, als der von der negativen eingenommene. Auch die äuſsere Begränzung der Figur muſs hierdurch bestimmt werden; die

---

[1]) *Exper. research.* al.* 2130. 2099.

negative Elektricität findet eine bereits negativ elektrische [749] Fläche, die sie auf die volle Kreisfigur beschränkt, während die positive Elektricität angezogen, und von der negativ elektrischen Fläche in strahliger Ausbreitung neutralisirt wird.

750 Ist es zur Bildung der Staubfigur nöthig, daſs Elektricität an die Oberfläche einer Platte trete, und diese Oberfläche zuvor negativ elektrisch geworden sei, so darf da keine Figur entstehen, wo die zweite Bedingung unerfüllt bleibt. Wir besitzen kein Mittel,[1] Elektricität auf eine isolirende Platte zu bringen, und diese gleichzeitig positiv elektrisch zu machen, aber leicht können wir dabei die Platte unelektrisch lassen. Es ist schon früher (§. 748.) gezeigt worden, daſs die continuirliche Entladung keine Staubfiguren zu wege bringt. Ferner läſst sich die Platte unelektrisch erhalten, wenn man auf ihr durch Influenz Elektricität erregt, und die Influenzelektricität zweiter Art durch die Masse der Platte ableitet. Alsdann bleibt Elektricität auf der Oberfläche der Platte zurück, die mit der angewandten ungleichnamig ist, und diese bildet keine Staubfiguren, sondern Zeichnungen, die unten beschrieben werden (§. 753.), und die nach der Art der Elektricität nicht verschieden geformt sind. Je dünner die Luft ist, durch welche die discontinuirliche Entladung stattfindet, desto schwächer ist diese Entladung, und damit die negative Elektrisirung der Platte. In einer solchen Luft werden daher die positiven und negativen Figuren einander immer ähnlicher (§. 748.), bis sie zuletzt, bei groſser Dünne der Luft, in die völlig gleich gestalteten Staubflecke übergehen, die sich nur, wenn das Pulvergemenge angewendet wird, durch die Farbe von einander unterscheiden.

751 Die Wirkung der Entladung, durch die hier die Abformung der Staubfiguren erklärt worden ist, giebt zugleich die Erklärung des früher beschriebenen, sogenannten Lullin'schen Versuches (§. 554.), in welchem eine zwischen 2 Spitzen des Schlieſsungsbogens gestellte Spielkarte stets an der Spitze durchbohrt wurde, welche die negative Elektricität auf die Karte führte. Indem nämlich die erste Partialentladung an beiden Spitzen die Karte trifft, macht sie die Oberfläche derselben negativ elektrisch; bei der folgenden Partialentladung

[751] hat daher positive und negative Elektricität sich auf einer negativ elektrischen Fläche zu verbreiten, und die erstere wird einen gröſseren Raum einnehmen können. Dies wird in stärkerem Grade bei jeder folgenden Entladung geschehen, so daſs die Durchbohrung der Karte an einer Stelle in der Nähe der negativen Spitze geschehen muſs. Verdünnung der Luft, in der sich die Karte befindet, wird, wie bei den Staubfiguren, die Erscheinung beschränken und, wenn sie in hohem Grade stattfindet, aufheben.

Vielleicht giebt das angewandte Erklärungsprincip auch Aufschluſs über den sehr räthselhaften Unterschied der Lichterscheinungen der positiven und negativen Elektricität. Es ist angeführt worden (§. 682.), daſs, wenn von einer Spitze negative Elektricität ausströmt, viel leichter das, auf eine kleine Stelle beschränkte, glimmende Licht erscheint, als der weit in die Luft ragende Lichtbüschel. Mit positiver Elektricität war hingegen der Büschel leicht zu erhalten. Nimmt man an, daſs der Luftstrom, von dem das Glimmen stets begleitet wird, mit Wassertheilchen vermischt ist, die von der, die ausströmende Spitze bedeckenden, Schicht condensirten Wassers losgerissen wurden, und lieſse sich nachweisen, daſs feuchte Luft gegen trockene gerieben, diese in gleicher Weise negativ elektrisch macht, wie starre Körper, so würde der bezeichnete Unterschied der positiven und negativen Lichterscheinung unserem Verständnisse bedeutend näher gerückt sein.

Die Staubbilder.

752 Zu diesen Bildern müssen Modelle benutzt werden (§. 739.). Man kann dazu vorhandene Stempel und Petschafte aus Metall gebrauchen, also ebene Metallplatten, in welchen Buchstaben oder andere Zeichen durch eingeschnittene Furchen kenntlich gemacht sind. Es mag nun der Buchstabe durch die ebenen oder vertieften Stellen der Platten gezeichnet sein, so will ich das Bild stets auf die ebenen, den Grund auf die vertieften Stellen beziehen. Man stelle das Modell auf eine recht ebene einfache Pechfläche, deren Unterlage abgeleitet ist, berühre das Modell mit dem Knopfe einer gela-

denen leydener Flasche, hebe das Modell an einem isoliren- [752] den Handgriffe ab, und bestäube die Pechfläche mit dem Gemenge aus Schwefel und Mennige. War die Flasche mit positiver Elektricität geladen, so erhält man das Bild des Modelles wenig und roth bestäubt, den Grund mit krausen gelben Staubfiguren ausgefüllt, das ganze Bild von einem breiten, gelben Strahlenringe eingefafst. War die Flasche mit negativer Elektricität geladen, so ist das Bild wenig und gelb bestäubt, der Grund roth. Das Staubbild wird merklich geändert und erscheint weniger scharf, wenn das Modell vor dem Abheben entladen wird und auch sonst, wenn die Flasche stark geladen ist. Es folgt hieraus, dafs die Staubbilder durch Influenzelektricität erster Art gebildet werden, bei Anwendung der positiven Elektricität das Bild also negativ, bei Anwendung der negativen positiv elektrisch ist. In den Furchen des Modelles geht die angewandte Elektricität auf die Bildfläche über, und bildet daselbst Staubfiguren, die häufig das Bild begränzen und verwirren. Um die Bilder rein und sicher zu erhalten, mufs der Uebergang der angewandten Elektricität vermieden werden, was man in verschiedener Weise erreichen kann.

753 Eine leydener Flasche mit grofsem Knopfe (§. 748.) wurde positiv geladen und horizontal befestigt. Einen halben Zoll unter der Kugel befand sich als Modell ein Stempel mit dem Buchstaben *T*, der auf eine einfache Pechplatte gestellt war. An dem Stempel war eine feine Nadel horizontal befestigt. Der Zweck dieser Vorrichtung ist deutlich. Der Stempel wurde von dem Knopfe der Flasche durch Influenz elektrisirt, so dafs die an dem Pech anliegende Stempelfläche positiv elektrisch war; eine zu starke Elektrisirung wurde durch die Nadel verhindert. Nachdem die Pechfläche 21 Minuten der elektrischen Wirkung ausgesetzt war, wurde sie abgenommen und bestäubt. Der Buchstabe und der ihn umgebende Ring erschienen sehr scharf und roth, aufserdem waren einige unregelmäfsig vertheilte gelbe Flecke sichtbar, von einer Staubfigur aber keine Spur. Diese Anordnung des Versuches gab stets gute Bilder, und bei länger dauernder elektrischer Einwirkung eine gröfsere Anzahl gelber Flecke.

[753] Unter einer trockenen Säule (§. 13.), an der jeder Pol bei Ableitung des anderen Poles ein Goldblattelektroskop mit zolllangen Blättern etwa 60° divergiren machte, wurde eine Pechplatte mit darauf gestelltem Messingpetschaft, in das 6 Buchstaben gravirt waren, angebracht. Das Petschaft wurde mit dem positiven Pole der Säule verbunden, der negative Pol zur Erde abgeleitet. Nach 25¼ Stunden wurde die Pechplatte bestäubt, und zeigte ein rothes Bild des Petschaftes, in dem die Schrift nicht bestäubt und vollkommen lesbar war. Ein Petschaft mit einem Buchstaben wurde 46¾ Stunden dem negativen Pole der Säule ausgesetzt; ich erhielt ein vollkommen scharfes, gelbes Bild, aufserhalb der Bildfläche einige unregelmäfsige rothe Flecke.

Mit der trockenen Säule erhält man, wenn die gehörige Zeit der Einwirkung inne gehalten wird, stets vollkommene Staubbilder, und zwar ohne Ausnahme in der Farbe, die der dem angewandten Pole entgegengesetzten Elektricitätsart zugehört. Hier zeigt sich der wesentliche Nutzen des zum Bestäuben angewandten Pulvergemenges; stellt man die Bilder mit *Semen lycopodii* dar, so ist durchaus nicht zu unterscheiden, mit welchem Pole der Säule sie dargestellt worden sind.

754 Die Farbe der unregelmäfsigen Flecke in den Staubbildern zeigt, dafs sie von Elektricität herrühren, die von dem angewandten Pole der Säule auf die Pechplatte und auf Stellen übergegangen war, die ihr ein leichtes Einströmen erlaubten. Sie zu vermeiden, hat man nur jener Elektricität einen noch leichteren Uebergang zu einer leitenden Umgebung zu bereiten, wie es geschieht, wenn man die Staubbilder in verdünnter Luft erzeugt. Ein hohler, mit Metallfassungen geschlossener Glascylinder, in dem ein Stempel auf einer Pechplatte stand, wurde auf eine Luftpumpe geschraubt, und die Luft im Cylinder bis 3 Lin. Barometerhöhe verdünnt. Eine mit positiver Elektricität geladene Flasche wurde einige Sekunden lang an die obere Fassung des Cylinders gelegt, die mit dem Stempel durch einen Drath verbunden war. Die Bestäubung der Pechplatte gab ein vollkommenes rothes Bild auf einem ganz gleichmäfsig bestäubten Grunde. Derselbe Versuch mit negativ ge-

ladener Flasche gab ein vollkommenes gelbes Bild. In dieser [754] Weise erhält man ganz tadelfreie Bilder, und zwar sehr sicher; nur wenn die Pechfläche nicht eben war oder unreine Stellen enthielt, habe ich die Bilder mifsrathen sehen.

Der Glascylinder wurde bis 4 Lin. Druck von Luft entleert, und seine obere Fassung, die mit dem auf der Pechplatte stehenden Stempel verbunden war, an den Conductor einer Elektrisirmaschine angelegt, und letztere 10 bis 20 mal umgedreht. Häufig entstanden hierdurch tadelfreie Bilder, zuweilen keine oder anomale. Dann waren entweder nur die Ränder des Stempels abgebildet, oder es erschienen zwar die Bilder normal gefärbt, aber mit anders gefärbten Rändern. Einigemal erschienen die Bilder anomal gefärbt, das positive Bild gelb, das negative roth, oder auch ein unbestäubtes Bild auf einem Grunde, der die Farbe der angewandten Elektricität hatte. In diesen Fällen war die Elektricität des Conductors auf die Pechplatte übergegangen, ohne die Contoure der Bilder zu stören.

755 Die Staubbilder sind unter allen elektrischen Zeichnungen die einfachsten, und ihre Erklärung unterliegt keiner Schwierigkeit. Ein elektrisirtes Modell auf einer isolirenden Platte erregt durch Influenz die ungleichnamige Elektricität an der Oberfläche der Platte, während die gleichnamige durch die Masse der Platte abgeleitet wird. Unter den ebenen, an der Platte anliegenden, Stellen des Modelles ist diese Elektricität am stärksten, unter den Furchen wird die schon an sich schwächere Influenzelektricität neutralisirt durch fortdauernden Uebergang der eigenen Elektricität des Modelles. So entstehen die vollkommensten Bilder bei Anwendung der leydener Flasche im luftverdünnten Raume (§. 754.), wo der Uebergang der Elektricität an den Rändern des Modelles erleichtert, und zugleich die Stärke der Elektrisirung beschränkt ist. Wird durch zugelassene Luft der Uebergang der Elektricität an den Rändern erschwert, so entstehen, wenn die Elektrisirung des Modelles gering ist, gute Bilder auf fleckigem Grunde, wenn aber die Elektrisirung plötzlich und heftig eintritt, Bilder und Staubfiguren zusammen. Alle diese Bilder sind durch Influenzelektricität erzeugt, weil, wie der Elektrophor gezeigt

[755] hat (§. 299.), zwischen ebenen Platten von sehr verschiedenem Leitungsvermögen Elektricität schwer übergeht, und daher unter den ebenen Stellen des Modelles keine Elektricität von dem Modelle auf die Pechplatte gelangt. Dieser Uebergang von Elektricität kann erzwungen werden, wenn das Modell durch Verbindung mit dem Conductor der Elektrisirmaschine heftig und anhaltend elektrisirt wird. Dann entstehen zuweilen die Bilder in der Farbe, die der Elektricität des Modelles zugehört, oder auch, wenn die übergetretene Elektricität nur zur Neutralisirung der Influenzelektricität unter dem Modelle hinreicht, unbestäubte Bilder. Diese Erzeugung der anomal gefärbten Bilder ist unsicher; es wird unten (§. 765.) ein sicheres Verfahren, sie zu erhalten, angegeben werden.

756 Die Staubbilder sind besonders merkwürdig durch ihre grofse Schärfe, welche eine zur Erklärung der Staubfiguren erfundene Hypothese widerlegt (§. 748.). Man kann eine längere Zeit zwischen der Elektrisirung und Bestäubung der Pechplatte vergehen lassen, ohne dafs der Schärfe des Bildes Eintrag geschieht, es mag nun von der einen oder der anderen Elektricitätsart gebildet sein. Würde die eine Elektricität von der Luft oder dem Stoffe der Platte besser geleitet, als die andere, so müfste sich dies in verzerrten Umrissen der Bilder zeigen. Auch erhält man hier eine Bestätigung des Satzes, dafs nur bei discontinuirlicher Entladung die Staubfiguren erzeugt werden (§. 748.). Bei den Bildern, wo Elektricität ohne eine solche Entladung auf eine isolirende Platte gebracht wird, zeigt sich niemals eine strahlige Ausbreitung der positiven oder eine rundliche der negativen Elektricität. Ich habe einmal eine Pechplatte, die unter einem Modelle dem negativen Pole der trockenen Säule ausgesetzt gewesen war, 37 Minuten liegen lassen, ehe ich sie bestäubte; dennoch erschien das Bild, wenn auch schwächer als sonst, gelb und mit dem Modelle vollkommen entsprechenden Umrissen, im Gegensatze zu der zackigen Ausbreitung, welche die positive Elektricität bei den Staubfiguren so leicht kenntlich macht.

Die nicht unmittelbar sichtbaren secundär elektrischen Zeichnungen.

Diese Zeichnungen werden dadurch sichtbar gemacht, daſs man von der Platte, auf der sie gebildet worden, Wassergas condensiren läſst. Um die durch die elektrische Entladung bewirkte Aenderung der Platte an den Stellen des Bildes nachzuweisen, bedürfen wir einiger Erfahrungen aus der allgemeinen Physik, die ich hier voranschicke. Alle festen Körper haben die Eigenschaft, an ihrer Oberfläche Gase, namentlich Wassergas zu condensiren, und zwar desto stärker, je reiner ihre Oberfläche ist. Die vollkommene Reinheit der Oberfläche wird erst durch ein dazu geeignetes Verfahren hergestellt, und kann nicht aus der spiegelnden Beschaffenheit der Oberfläche geschlossen werden. Eine Oberfläche, die continuirlich ist, kann noch vollkommen spiegeln, wenn sie gleichförmig mit einer durchsichtigen Schicht einer fremden Substanz bedeckt ist. Ein Beispiel hiervon giebt das Platin, dessen ganz reine Oberfläche die Eigenschaft hat, ein darauf strömendes Gemenge von Wasserstoff- und Sauerstoffgas zu Wasser zu verbinden, und sich durch diese plötzliche Condensation so zu erhitzen, daſs das übrige Gas entzündet wird. Eine noch so sorgsam polirte spiegelnde Platinplatte thut dies nicht. Als aber Faraday[1]) eine solche Platte erhitzte, mit kaustischem Kali abrieb, das darauf geschmolzene Kali durch destillirtes Wasser entfernte, die Platte in heiſse Schwefelsäure und endlich in Wasser tauchte, bis die letzten Spuren der Säure entfernt waren, entzündete sie ein Gemenge von Sauer- und Wasserstoffgas sogleich. Es war also die Platte durch dies zusammengesetzte Verfahren von der sie deckenden fremden Schicht befreit, und erst dadurch vollkommen rein geworden. Blieb eine solche reine Platte an der Luft liegen, so wurde sie bald unwirksam, weil ihre bloſsgelegte Oberfläche die in der Luft enthaltenen Gase verdichtet, und mit diesen Niederschlägen bedeckt wird. 757

Ein anderes, dem uns vorliegenden Gegenstande näher 758

[1]) *Exper. research.* al.* 605.

[758] tretendes, Beispiel liefert der Glimmer, ein Mineral, das in grofsen, sehr ebenen und spiegelnden Tafeln vorkommt. Wird ein anscheinend reines Glimmerblatt angehaucht, oder über dampfendes Wasser gehalten, so beschlägt es, wie alle glatten Körper; es wird mit einer gleich wieder verschwindenden incohärenten Wasserschicht überzogen, die aus sehr kleinen, in geringem Abstande von einander stehenden, Wassertropfen besteht. Diese Schicht ist wenig durchsichtig, sie dämpft daher die Spiegelung auf der Glimmerfläche, oder trübt, wenn das Blatt durchsichtig ist, den Anblick eines darunter liegenden Gegenstandes in hohem Grade. Man hebe mit einem scharfen Messer eine dünne Glimmerlamelle ab, und gebe dadurch an einer Stelle dem Glimmer eine frische Oberfläche; behaucht man nun das Blatt auch noch so stark, so bleibt die erneute Stelle vollkommen klar, spiegelnd und durchsichtig, während ihre Umgebung, wie früher, getrübt wird. Diese Erscheinung rührt keineswegs davon her, dafs die frische Fläche keinen Wasserdampf condensirt; auf einer solchen Fläche von einiger Ausdehnung bemerkt man leicht, dafs sie durch den Hauch mit den Farben der dünnen Blättchen anläuft, woraus folgt, dafs sie mit einer zusammenhängenden Wasserhaut überzogen ist. Ein Wassertropfen, der auf einer alten Glimmerfläche stehen bleibt, zerfliefst auf einer frischen sogleich, und benetzt die Fläche vollständig. Eine durch Spaltung so eben entstandene Glimmerfläche besitzt, in Folge ihrer grofsen Reinheit, eine so grofse Anziehung zum Wassergase, dafs sie es zu einer cohärenten Schicht verdichtet, während sie, längere Zeit der Luft ausgesetzt, das Gas nur zu gesonderten Tropfen zu condensiren vermag. Diese verschiedene Condensation des Wassers läfst sich mit Hülfe eines Mikroskops deutlich wahrnehmen. Aber nicht allein in einem mit Dampf nahe gesättigten Raume, wie er durch den Hauch momentan erzeugt wird, übt die frische Glimmerfläche ihre Kraft, sondern schon in gewöhnlicher Luft, wenn diese auch weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Der Glimmer gehört zu den besten Nichtleitern der Elektricität; ich nahm eine Glimmertafel, die an ein geladenes Elektroskop gehalten, die Divergenz desselben während einer Minute völlig ungeändert liefs. Als aber die Hälfte der

Glimmerfläche durch Ablösung einer Lamelle erneut worden [758] war, entlud diese Hälfte das Elektroskop in wenigen Sekunden, während die andere, wie früher, die Elektricität nicht leitete.

Dafs die leitende Schicht auf der erneuten Fläche aus 759 Wasser bestand, und durch Verdampfung von ihr zu entfernen ist, lehrten die folgenden Versuche. Ein frisch gespaltenes Glimmerblatt, in eine Büchse gebracht, deren Boden mit Chlorcalcium bedeckt war, leitete nach wenigen Minuten die Elektricität nicht, wurde aber wieder leitend, als die trocknende Substanz entfernt, und die Luft in der Büchse erneut war. Erhitzt leitet ein solches Glimmerblatt nicht, erhält aber während des Erkaltens sein Leitungsvermögen wieder. Die beiden Metallfassungen eines 27 Linien hohen Glascylinders wurden durch ein frisch gespaltenes Glimmerblatt innerlich mit einander verbunden; jede Fassung leitete die Elektricität eines Elektroskops sogleich ab, wenn die andere Fassung mit der Hand berührt wurde. Als aber die Luft im Cylinder bis 2 Linien Barometerhöhe verdünnt war, wurde das Elektroskop auf diese Weise nicht entladen, weil das Glimmerblatt jetzt vollkommen isolirte, indem seine Oberfläche durch die Luftverdünnung getrocknet worden war. Dies war noch nach 22 Stunden der Fall, als der Versuch abgebrochen wurde; ein wenig Luft, in den Cylinder gelassen, hob sogleich die isolirende Eigenschaft des Glimmers auf, der so gut, wie früher, leitete, wenn der Cylinder mit Luft gefüllt wurde. — Diese merkwürdige Eigenschaft des frischen Glimmers erhält sich in der Luft nur kurze Zeit. Schon nach wenigen Stunden wird die frische Fläche an einzelnen Stellen durch den Hauch getrübt, nach wenigen Tagen zieht sich die Trübung über die ganze Fläche, und diese leitet die Elektricität weniger gut. Es deutet dies darauf, dafs, wie beim Platin (§. 757.), die Fläche mit Niederschlägen aus der Atmosphäre bedeckt worden ist.

Die Hauchfiguren.

Im Jahre 1838 hatte ich bemerkt, dafs Glas- oder Glim- 760 merplatten, die zwischen Spitzen in den Schliefsungsbogen einer

[760] Batterie eingeschaltet waren, nachdem der Entladungsfunke über ihre Flächen gegangen war, beim Anhauchen eigenthümlich verästelte Figuren zeigen, die spiegelhell auf den vom Hauche getrübten Flächen stehen[1]). Diese Figuren, nach der Art, sie sichtbar zu machen, Hauchfiguren genannt, entstanden auf beiden Flächen jeder Platte, also um die mit der äufseren, wie um die mit der inneren Belegung der Batterie verbundene Spitze, von durchaus gleicher Form. Die Glasplatten waren an den Stellen, wo die Figuren erschienen, leitend geworden, wie eine Prüfung am Elektroskope zeigte. Spätere Versuche lehrten, dafs diese Figuren sich lange Zeit, nachdem die Platte der Entladung ausgesetzt war, durch den Hauch hervorrufen liefsen, und nicht nur auf isolirenden, sondern auch, nur in anderer Form, auf vollkommen leitenden Platten entstanden. Nachdem nämlich von einer Spitze mehrere Funken auf polirte, mit Gold oder Silber plattirte, Kupferbleche übergegangen waren, erschien im Hauche eine völlig spiegelnde Kreisfläche, von mehr und minder getrübten Kreisen umgeben.

761 Dafs die Hauchfiguren auf isolirenden Platten nicht durch Elektricität gebildet werden, die darauf nach der Entladung zurückgeblieben ist, zeigen die folgenden Versuche. Eine kleine, mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine verbundene, Metallkugel wurde an die Mitte einer einfachen Pechplatte angelegt, deren Basis vollkommen abgeleitet war. Der Conductor wurde positiv elektrisirt, so dafs mehrere Funken über die Pechfläche schlugen, ohne sie sichtlich zu verletzen. Angehaucht zeigte diese Fläche den Weg der Funken durch geschlängelte schwarze Streifen (in welchen das Pech sichtbar war) auf getrübtem Grunde. Diese Streifen erschienen ebenso, wenn die Pechfläche vor dem Behauchen mit einer Flamme bestrichen worden war, sie erhielten sich danach ungeändert eine längere Zeit. Die Streifen hatten genau dieselbe Form, wenn der Conductor negativ elektrisirt wurde. Diese Hauchfiguren schneiden zwar stets scharf vom Grunde ab, aber nicht immer durch dieselbe Condensation des Wasserdampfs; häufig bemerkt man die Streifen von zwei Linien eingefafst, die stär-

---

[1]) Poggendorff Annalen* 48. 85.

ker getrübt sind, als der Grund, oft befindet sich auch in der [761] Mitte des Streifens eine solche Linie. Diese Verschiedenheit im Aussehen der Hauchfiguren ist von der Art der angewandten Elektricität durchaus unabhängig. — Ueber ein Glimmerblatt, das zwischen zwei Metallkugeln geklemmt war, liefs ich Funken von dem, positiv oder negativ geladenen, Conductor der Maschine schlagen. Es entstanden dadurch sehr vollkommene Hauchfiguren, in der Gestalt fein verästelter Linien, auf beiden Flächen des Blattes, die durch Bestreichen mit einer Flamme nicht geändert wurden und spiegelhell auf getrübtem Grunde standen. Schon nach einigen Tagen wurden die Figuren merklich getrübt, schieden sich aber deutlich vom Grunde. Figuren, die durch einen Batteriefunken auf Glimmer erzeugt worden waren, konnten noch nach 8 Jahren deutlich erkannt werden.

762 Indem der Hauch an die Fläche gebracht wird, auf dem die Figur sich bildet, ist also keine elektrische Einwirkung vorhanden; ein Umstand, der die Hauchfigur bestimmt und schärfer von der Staubfigur trennt, als die Verschiedenheit der Form. Diese Form wird durch den Weg gegeben, den die Entladung genommen hat, und ist daher von der Substanz der Platte abhängig, die der Entladung ausgesetzt wird. Auf Metallen erscheint die Hauchfigur als Scheibe, auf Harz als geschlängelter Streifen, auf Glas und Glimmer als feine vielfach verästelte Linie. Von der Art der direct angewandten Elektricität ist diese Form unabhängig, da die Figur durch eine wesentliche Wirkung der Entladung bestimmt wird, bei der stets beide Elektricitäten thätig sind. Welcher Art diese Wirkung der Entladung ist, läfst sich aus mehreren Erfahrungen entnehmen. Hauchfiguren, die auf sehr alten, eine lange Reihe von Jahren der Luft ausgesetzten, Glimmertafeln dargestellt werden, erscheinen sehr scharf und unter allen Umständen als spiegelhelle Zeichnungen auf getrübtem Grunde; bei Anwendung einer neueren Glimmerfläche fehlt oft die Schärfe, oft findet nur ein geringer Unterschied der Trübung zwischen Figur und Grund statt, es kommen selbst Fälle vor, wo die Figur stärker getrübt ist, als der Grund. Auf einer durch Spaltung frisch gebildeten Fläche erhält man keine Figur. Ein altes Glimmerblatt wurde zwischen Spitzen in den Schliefsungsbogen einer Bat-

[762] terie eingeschaltet. Der Entladungsfunke ging bis zum Rande des Blattes über beide Glimmerflächen, und liefs auf ihnen sehr ausgebildete Hauchfiguren zurück. Derselbe Versuch wurde an einer Glimmertafel wiederholt, deren eine Fläche durch Spaltung erneut war. Jetzt zeigte nur die alte Fläche die Figuren, die frische wurde nur an einigen unregelmäfsig vertheilten Stellen durch den Hauch getrübt. Das entgegengesetzte Verhalten trat bei den Harzflächen ein; während neue, zum erstenmale gebrauchte, Pechflächen stets spiegelnde Hauchfiguren gaben, lieferten oft umgeschmelzte, also ihres ätherischen Oeles gröfstentheils beraubte, Flächen nicht selten stark getrübte Figuren auf weniger getrübtem Grunde. Vergleichen wir hiermit die oben (§. 758.) angegebene Erfahrung, dafs eine, mit einer fremden Schicht bedeckte, Glimmerfläche durch den Hauch getrübt wird, aber spiegelhell bleibt, wenn diese Schicht fehlt, so erscheint die Wirkung der Entladung, durch welche die Hauchfiguren gebildet werden, als ein Aufreifsen und Entfernen der fremden Schicht, welche auf die benutzten Platten durch Niederschläge aus der Atmosphäre oder die Zubereitung der Platte gebracht worden ist. Die von dieser Schicht befreieten Stellen der Fläche condensiren das Wassergas des Hauches zu einer cohärenten durchsichtigen Haut; die unveränderten Stellen zu einer trüben, aus Tropfen bestehenden, Schicht. Statt der Entfernung der Schicht kann die Entladung auch eine Verdichtung derselben bewirken, und dadurch die getrübten Figuren erzeugen. Endlich kann das Aufreifsen der Schicht auch mit einer Veränderung der darunter liegenden Glimmermasse verbunden sein, wodurch sich die Jahrelang erhaltenen Figuren erklären lassen. Die Versuche der folgenden Paragraphe dienen zur Bestätigung dieser Erklärung der verschiedenen Hauchfiguren.

Die elektrischen Hauchbilder.

763 Die Darstellung dieser Bilder ist im Jahre 1842 von G. Karsten erfunden worden[1]). Eine Münze wurde auf

[1]) Poggendorff Ann.* 57. 492.

eine Spiegelplatte gelegt, die auf einer, zur Erde abgeleiteten, [763] Metallscheibe ruhte. Nachdem die, durch 100 Umdrehungen einer Elektrisirmaschine erzeugten, Funken vom Conductor zur Münze, und von dieser zur Metallscheibe geschlagen hatten, wurde die Münze abgehoben. Die Glasfläche zeigte angehaucht ein vollständiges Bild der Münze. Zum Gelingen des Versuches war eine besondere Beschaffenheit der Glasplatte, und das häufige Ueberschlagen der Funken von der Münze zur untergelegten Metallscheibe erforderlich. Sicherer erhält man diese Bilder auf folgende Weise. Von den Kugeln des Funkenmikrometers (§. 330.), die $\frac{1}{2}$ Linie von einander entfernt gestellt werden, leitet man die eine zur Erde ab, legt die andere an den Conductor der Elektrisirmaschine und knüpft an ihr einen Silberfaden fest, der am Ende ein kleines Gewicht (5 Gramm) trägt. Das Gewicht stellt man auf das abzubildende Metallmodell, und dies auf eine ebene gut getrocknete Glasplatte. Nach 40 bis 50 Umdrehungen der Elektrisirmaschine erhält man gewöhnlich ein gutes Hauchbild des Modelles auf der Glasfläche. Leichter gelingen die Bilder auf einer alten Glimmertafel, und unfehlbar erhält man sie auf einer neu geschmolzenen ebenen Pechplatte. Bei letzterer reichen wenige Umdrehungen der Maschine zu einem guten Bilde hin, das sich mehrere Tage erhält, wenn man die Pechplatte gleich nach dem Elektrisiren durch Bestreichen mit einer Flamme unelektrisch gemacht hat.

764 Die Hauchbilder sind weder nach dem Stoffe der Platten verschieden, auf der sie gebildet werden, noch nach der Elektricitätsart, mit welcher der mit dem Modelle verbundene Conductor geladen ist. Das Letztere ist von vorn herein klar, wenn man den Vorgang bei der Entstehung des Bildes betrachtet. Der Conductor der Maschine sei positiv elektrisch. So lange kein Funke im Mikrometer übergeht, entladet sich positive Elektricität von dem Modelle zur isolirenden Platte, also von oben nach unten; mit dem Erscheinen des Funkens wird die Platte von dem Modelle entladen, es findet also eine Entladung statt, bei der die positive Elektricität von unten nach oben geht. Das Bild entsteht durch eine Reihe abwechselnd entgegengerichteter Entladungen, deren Anzahl die doppelte

[764] der im Mikrometer übergehenden Funken ist. Ist der Conductor negativ elektrisch, so findet dieselbe Zahl entgegengerichteter Entladungen statt, mit dem einzigen Unterschiede, dafs die erste Entladung nicht von oben nach unten, sondern von unten nach oben geht. Dafs Hauchbilder durch Entladungen nach Einer Richtung entstehen, habe ich nicht bemerkt. Es entstand zwar zuweilen ein Bild auf einer Platte, die so gut leitete, dafs kein Funke im Mikrometer entstand, alsdann zeigte aber eine Lichterscheinung am Rande des Modells, dafs die Platte das Modell und nicht das Bild entlud, also dieselbe Folge der abwechselnd entgegengerichteten Entladungen, wie sonst, statt fand. Die Entladungen zwischen einem guten und einem schlechten Leiter sind nie vollständig, es bleibt daher Elektricität beiderlei Art auf der isolirenden Platte zurück, die daselbst Staubfiguren, oft auch die Umrisse von Staubbildern erzeugt, ohne aber auf das Hauchbild einen unmittelbaren Einflufs auszuüben.

765 Bei der Entstehung eines Hauchbildes sind stets die Bedingungen für mehrere Hauchbilder vorhanden, die bei geeigneter Vorrichtung aufgezeigt werden können. Die untere Fläche der isolirenden (Glas-, Glimmer-, Pech-) Platte hat nämlich eine isolirende oder leitende Unterlage. Indem Elektricität von dem Modelle zur oberen Fläche der Platte geht, entfernt sich Elektricität derselben Art von der unteren Fläche, und geht auf die Unterlage über. Ebenso wird, wenn das Modell die obere Fläche entladet, die Unterlage von der unteren Fläche entladen. Man hat also zwei Reihen gleichzeitig eintretender Entladungen, die zwischen dem Modell und der oberen Fläche der Platte, und ferner zwischen der unteren Fläche und der Unterlage statt finden. Dafs die unteren Entladungen genau an Stellen der Platte geschehen, die den oberen Stellen des Modells entsprechen, läfst sich durch den Versuch zeigen, auf der Unterlage Staubbilder zu erzeugen. Auf eine Pechplatte wurde ein Glimmerblatt, auf dieses der T-Stempel (§. 753.) gesetzt, der von einer positiv geladenen Flasche einen Funken erhielt, und dann zugleich mit dem Glimmer abgehoben wurde. Die Pechfläche zeigte bestäubt den Buchstaben und Ring vollkommen scharf in gelber Farbe, den

Grund mit positiven Staubfiguren ausgefüllt. Nach einem [765] Funken negativer Elektricität zeigte die Pechfläche Buchstaben und Ring scharf und roth, den Grund aus negativen Figuren gebildet. In beiden Fällen fand also eine zwiefache Entladung derselben Elektricitätsart in gleicher Richtung statt: von dem Stempel zur oberen Glimmerfläche, und von der unteren Glimmerfläche zur Pechfläche; hätte man den Stempel entladen, so würden beide Entladungen in entgegengesetzter Richtung zurückgegangen sein. Durch fortgesetztes Laden und Entladen des Stempels kann man daher zwei einander gleiche Reihen von Entladungen erzeugen, die abwechselnd in entgegengesetzter Richtung statt finden, und bei welchen sich die untere Glimmerfläche gegen die darunter liegende Fläche genau so verhält, wie der Stempel gegen die obere Glimmerfläche. Diese Folgerung wird weiter unten (§. 776.) durch andere Versuche bestätigt.

766 Da ein Hauchbild entsteht, wenn wiederholte entgegengerichtete Entladungen dieselben Stellen einer Fläche treffen, so müssen bei dem Versuche mit Glimmer und Pechfläche drei Bilder sichtbar werden, wenn die Ladungen des Modells wiederholt werden. Eine Pechplatte wurde mit einem Glimmerblatte bedeckt, und auf dies ein Stempel gestellt, der durch das Funkenmikrometer geladen und entladen wurde. Nach 20 Umdrehungen der Maschine, deren Conductor mit der einen Kugel des Mikrometers verbunden war, erschien der Stempel auf der oberen Glimmerfläche im Hauche vollkommen abgebildet, auf der unteren Fläche aber nur zum Theil, und ebenso auf der Pechfläche. Bei mehrfacher Wiederholung des Versuches kam nur zweimal ein vollkommenes Hauchbild auf dem Peche zu Stande, am häufigsten war nur ein Theil des Stempels abgebildet, das Uebrige durch Flecke verdeckt. Diese Bilder bleiben so oft unvollständig, weil Pech und Glimmer durch die, nach jeder Entladung zurückbleibende, Elektricität stark zusammenhaften, und die folgenden Entladungen dann an Stellen herbeigeführt werden, die zufällig zerstreut außerhalb der Bildfläche liegen. Vollkommene Bilder erhält man dadurch, daſs statt der Pechfläche eine leitende (Metall-) Fläche genommen wird. Hierdurch werden wir auf die Hauchbilder

[766] auf Metall geführt, die zuerst von G. Karsten dargestellt worden sind [1]).

767 Ich bedeckte eine ebene, gut polirte Messingplatte mit einem alten Glimmerblatte von 0,02 Lin. Dicke, stellte darauf einen Metallstempel (T in einem Ringe) und verband ihn mit der einen Kugel des Funkenmikrometers, die von der anderen zur Erde abgeleiteten Kugel ½ Linie entfernt stand. Der mit derselben Kugel verbundene Conductor der Maschine wurde positiv elektrisirt; nach 40 Umdrehungen, die etwa 100 Funken im Mikrometer geliefert hatten, wurde der Stempel und die Glimmertafel abgehoben. Es waren drei vollkommene Hauchbilder entstanden, auf der oberen und unteren Fläche des Glimmers, und auf der oberen Metallfläche. Die letzte zeigte angehaucht das T durch hellen Contour, den Ring durch 2 concentrische Kreise, indem der übrige Theil der Fläche durch den Hauch gleichmäſsig getrübt wurde. Dieser vollständig gelungene Versuch war nicht mit Sicherheit wieder zu erhalten. Gewöhnlich war das Hauchbild auf der oberen Glimmerfläche vollständig, auf der unteren Fläche und der Metallfläche unvollständig. Es fanden sich da nur einige Theile des Buchstaben und des Ringes scharf wiedergegeben, andere durch Flecke verdeckt. Ein Haupterforderniſs für ein gutes Hauchbild auf Metall ist die richtige Wahl des Glimmerblattes, das frei von Brüchen sein, und im Hauche vollkommen gleichmäſsig getrübt werden muſs. Hat man daher an einer Stelle eines Blattes ein Bild hervorgebracht, und wendet dieselbe Stelle zu einem neuen Versuche an, so gelingt dieser nicht. Eine vor Kurzem erneute Fläche des Glimmers darf nicht angewendet werden; sie wird zwar nach einigen Wochen wieder brauchbar, steht aber einer alten Fläche stets nach.

768 Geringeren Einfluſs, als die Beschaffenheit des Glimmers, auf das Gelingen des Bildes, hat die Politur der Metallplatte, die nur so weit getrieben zu werden braucht, daſs die Platte im Hauche gleichmäſsig getrübt wird. Doch aber sind bei verschiedenen Metallen die Putzmittel nicht gleichgültig.

---

[1]) Poggend. Ann.* 58. 115.

Bei Messing fand ich Oel, Zinnasche und Filz, bei Platin [768] und Silber Alkohol, Knochenasche und lose Baumwolle am zweckdienlichsten. Die Anwendung des Oels giebt der Platte eine farbige Trübung durch den Hauch, die ich aber nur bei Messing als nützlich zu einem guten Bilde gefunden habe. Wahrscheinlich ist das verschiedene Verhalten der Metalle bei dem Putzen Ursache, dafs die Hauchbilder nicht mit gleicher Leichtigkeit auf allen Metallen erhalten werden. Platin gab mir am leichtesten gute Bilder, dann Messing, am schwersten Silber. Dafs das nützliche Putzen hier nicht die Reinigung des Metalles bewirkt, sondern ein gleichmäfsiges Ueberziehen der Metallfläche mit einer fremden Schicht, zeigte folgender Versuch. Eine Platinplatte, mit Zinnasche, Alkohol und Baumwolle geputzt, gab vortreffliche Bilder, in welchen die Umrisse des Modells ungetrübt und aufserordentlich scharf erschienen. Die Platte wurde geglüht, in concentrirte heifse Schwefelsäure getaucht, in destillirtem Wasser abgespült und erhitzt; sie war hiernach so rein, dafs sie warm einen Strom von Wasserstoffgas entzündete. Auf einer so gereinigten Platte entstand aber kein Hauchbild, und nur einmal war die Scheibe des aufgesetzten Stempels schwach angedeutet. Danach auf die frühere Art geputzt, gab sie gute Bilder.

769 Die zu einem guten Hauchbilde auf Metall nöthigen Bedingungen zeigen, dafs die Wirkung der Entladung, durch die das Bild entsteht, dieselbe ist, wie bei den Hauchfiguren: ein Entfernen der die Platte deckenden fremden Schicht (§. 762.). Bei Metallplatten hat Karsten diese Reinigung der Platte an den Bildstellen durch folgenden Versuch aufgezeigt[1]). Ein auf Messing erzeugtes Hauchbild wurde unter ein Mikroskop gebracht; alle Stellen, die dem unbewaffneten Auge unbenetzt erschienen, zeigten sich mit sehr feinen in einander laufenden Tropfen bedeckt, die eine beinahe zusammenhängende Wasserfläche bildeten. Eine Messingplatte mit einem Bilde, in Kupfervitriollösung getaucht und auf passende Weise in die Schliefsung eines Volta'schen Elementes gebracht, zeigte das Bild durch Niederschlagung von Kupfer; eine ähnliche Platte,

[1]) Poggend. Annal.* 60. 1.

[769] in eine Lösung von salpetersaurem Silberoxyd getaucht, gab das Bild durch vermehrten Niederschlag von Silber zu erkennen. Ueberall übten die, den erhabenen Stellen des Modells entsprechenden, Stellen des Bildes auf Metallsalze eine gröſsere Wirkung aus, als der Grund, was eine Folge ihrer gröſseren Reinheit ist. Für isolirende Platten wird diese gröſsere Reinheit dadurch bewiesen, daſs die Bildstellen die Elektricität besser leiten, als der Grund. Ich erzeugte auf einer Glimmerfläche, deren isolirende Eigenschaft an allen Stellen geprüft war, ein vollkommenes Hauchbild; die Stellen, die im Hauche spiegelnd erschienen, waren leitend geworden und wurden erst beim Erhitzen isolirend, sie verhielten sich also wie eine reine Glimmerfläche (§. 758.). Bei dem Glase ist schon früher angegeben worden, daſs die Hauchfiguren Stellen bezeichnen, die durch die Entladung leitend geworden sind (§. 760.).

770 Es können indeſs auch leicht Hauchbilder erzeugt werden, die durch Vermehrung der, die Platten deckenden, fremden Schicht sichtbar werden. Auf die frische Fläche eines eben gespaltenen Glimmerblattes wurde ein Stempel gesetzt und, mit Einschaltung des Mikrometers, durch 40 Umdrehungen der Maschine elektrisirt. Es erschien ein vollkommenes Hauchbild auf dem Glimmer, in welchem Buchstabe und Ring durch scharfe getrübte Linien gezeichnet war, während der übrige Theil der Fläche ungetrübt blieb. Bei Wiederholung des Versuches erschien die Zeichnung weniger scharf, aber Buchstabe und Ring vollkommen ausgefüllt und getrübt. Auf einer alten Glimmerfläche war ein vollkommen helles Hauchbild dargestellt worden; der Stempel wurde wieder auf das Bild gestellt und durch 40 Umdrehungen elektrisirt. Das neu entstandene Hauchbild unterschied sich deutlich von dem alten, indem es vollständig getrübt war. Auf einem alten Glimmerblatte, das bei 40 Umdrehungen der Maschine ein gutes helles Hauchbild gab, wurde der Stempel durch 100 Umdrehungen elektrisirt; es erschien eine helle Scheibe von gröſserem Umfange, als der Stempel besaſs, auf welcher der Buchstabe vollkommen getrübt hervortrat. In diesen Fällen entstand ein Bild dadurch, daſs eine fremde Schicht von den erhabenen Stellen des Modells losgerissen und auf die reine Glimmerfläche abgelagert wurde.

771 Die Entstehung der Hauchbilder, wie die der Hauchfiguren, ist im Allgemeinen einer Veränderung zuzuschreiben, welche die elektrische Entladung in der die Platte deckenden fremden Schicht hervorbringt, die je nach den Umständen in einer Verdichtung oder Verdünnung dieser Schicht besteht. Bei den Hauchbildern geht die Entladung durch zwei auf einander ruhende Schichten, durch die Schicht des Modells oder der Modellfläche (der unteren Glimmerfläche bei den mehrfachen Bildern), und die der Bildfläche. Wenn auch beide Schichten auf einander wirken, so ist doch die Veränderung, welche jede Schicht durch die Entladung erfährt, unabhängig von der der anderen. Eine Verdünnung der einen Schicht bedingt nicht nothwendig eine Verdichtung der anderen; bei den Bildern auf Metall entspricht am häufigsten das Bild der unteren Glimmerfläche in der Schattirung dem der Metallfläche.

772 Es ist hier noch auf die Täuschung aufmerksam zu machen, daſs man auf einer isolirenden Platte ein Hauchbild zu haben glaubt, obgleich nur ein Staubbild vorhanden ist. In Betreff der Hauchfiguren kann diese Täuschung nicht eintreten, da ihre Form von der der Staubfiguren durchaus abweicht. Befindet sich in dem Zimmer, in dem ein Hauchbild auf einer isolirenden Platte erzeugt wird, feiner Staub, besonders Tabacksrauch, so entsteht gleich nach dem Abheben des Stempels von der Platte ein äuſserst feines Staubbild, das in der Spiegelung der Platte nicht zu erkennen ist, aber durch verschiedene Condensation des Hauches deutlich hervortritt. Säubert man nun, wie zur Conservirung des Hauchbildes nöthig ist (§. 763.), die isolirende Platte an einer Flamme von Elektricität, so bleibt das Staubbild auf jener ersten Stufe stehen und ist schwer von einem ächten Hauchbilde zu unterscheiden; unterbleibt diese Säuberung, so wird das Staubbild im Hauche immer merklicher und ist bald auch ohne Hauch sichtbar. Das wirkliche Hauchbild dagegen ist am schärfsten im Augenblicke, wo man den Stempel von der Platte hebt, und nimmt danach durch Bildung von Staubfiguren merklich an Bestimmtheit ab. Das unächte Hauchbild hat zwar stets den Charakter eines benetzten Bildes, kann aber dennoch, wenn nur die Umrisse des Modells abgebildet sind, den Eindruck eines unbenetzten geben. Es entstehen auch zuweilen unächte

[772] Hauchbilder durch Unreinheit des angewandten Stempels, oder, bei mehrfachen Bildern, der unteren Glimmerfläche; diese sind aber weniger täuschend, da gröbere Staubtheile vor der Behauchung leicht erkannt werden.

Unmittelbar sichtbare secundär elektrische Zeichnungen.

773 Wir kommen nun zu den elektrischen Zeichnungen durch Veränderung des Stoffes selbst der angewandten Platten, die daher unmittelbar sichtbar sind.

Die elektrischen Farbenstreifen. Indem die elektrische Entladung über die Oberfläche einer isolirenden Glastafel fortgeht, dringt sie in dieselbe bis zu einiger Tiefe ein, und hinterläfst matte, unter dem Fingernagel knirschende, Spuren, die durch eine Ausscheidung von Kali gebildet werden (§. 553.). Auf weichem Glase, schöner auf Glimmer, entstehen durch die Entladung Farbenstreifen. Man erhält diese am leichtesten, wenn ein Glimmerblatt, zwischen zwei gegenüberstehende Spitzen geklemmt, in den Schliefsungsbogen einer Batterie eingeschaltet wird; bei der Entladung wird der Glimmer selten an der Ansatzstelle der Spitzen durchbohrt, gewöhnlich geht der Entladungsfunke über beide Glimmerflächen bis zu einer minder dichten Stelle, oder auch bis zum Rande des Blattes, und hinterläfst Farbenstreifen auf beiden Flächen. Derselbe Erfolg tritt ein, wenn das Glimmerblatt, in Olivenöl getaucht, der Entladung ausgesetzt wird, woraus zu schliefsen ist, dafs die Glimmermasse in der Richtung ihrer Blätterdurchgänge die Elektricität besser leitet, als in der darauf winkelrechten Richtung. Die Farbenstreifen bestehen aus continuirlichen geschlängelten Streifen von durchgängig gleicher Breite, die im durchgehenden Lichte hellgrau gefärbt sind. Im reflectirten Lichte erscheint jeder Streifen als ein zierlich gefärbtes Band, das von zwei scharf gezeichneten dunkeln Linien eingefafst ist, auf welche an jeder Seite eine helle spiegelnde Franse folgt. Der innere Theil des Bandes, der

zwischen diesen beiden Fransen liegt, ist nicht immer gleich [773] vollkommen ausgebildet, und zeigt verwischte Zonen von gelber, blauer, rother und grüner Farbe. In den deutlichsten Exemplaren folgt auf die helle Franse eine rothe, dann eine glänzend grüne, die Mitte des Bandes ist immer dunkel. Es zeigt dies, daſs die Entladung die Glimmermasse von der Mitte des Bandes bis zu dem Rande in stetig abnehmender Tiefe verändert. Minder schön, als auf Glimmer, lassen sich die Farbenstreifen auf Glas darstellen, das zufällig oder durch künstliche Behandlung (bei dem rothen Ueberfangglase) an seiner Oberfläche die Elektricität leitet. Auf dem stark alkalischen französischen Glase erscheinen die Farbenstreifen breiter, als auf dem Glimmer, aber die Farben sind matter, und zeigen sich unter der Lupe weniger bestimmt in Zeichnung und Färbung. Die Streifen sind auf diesem Glase durchaus glatt, und werden selbst durch heiſse Salpetersäure nicht verändert.

774 Die Priestley'schen Ringe. Sie entstehen, wenn man eine gröſsere Anzahl von Batteriefunken an derselben Stelle einer polirten Metallfläche übergehen läſst, und sind daher stets an den Kugeln der, zur Ladung der Batterie benutzten, Maaſsflasche vorhanden. Priestley entdeckte diese Ringe im Jahre 1766 und untersuchte sie genauer 2 Jahre darauf[1]). Als er Batteriefunken zwischen convexen Metallflächen (Uhrgehäusen) überschlagen lieſs, waren beide Flächen in gleicher Weise mit Ringen gezeichnet, woraus folgt, daſs die Erscheinung unabhängig von der Elektricitätsart ist, mit der die Batterie geladen wird. Am schönsten wurden die Ringe erhalten, als die Funken zwischen einer ebenen Metallfläche und einer ihr winkelrecht nahe stehenden Metallnadel überschlugen. Unter der Nadelspitze entstand auf der Fläche ein genau runder Fleck, der aus erhabenen und vertieften Stellen und einem schwarzen abwischbaren Staube bestand. Um diesen Fleck war ein breiter Ring mit den Regenbogenfarben entstanden, das Violett innen, das Roth auſsen. Durch

---

[1]) *Priestley history of electr.** 660. — *Phil. transact.* 1768. — *abridg** 12. 510.

[774] Vermehrung der Entladungen bis 30 oder 40 entstand um diesen Ring ein ähnlicher zweiter und ein dritter. Bei weiter fortgesetzten Entladungen nahm die Deutlichkeit der Farben ab. Je näher die Nadelspitze der Metallfläche stand, desto enger waren die Ringe; die Bestimmtheit ihrer Umrisse war durch die Schärfe der Spitze bedingt. Priestley stellte die Ringe dar auf Platten aus Gold, Silber, Kupfer, Messing, Eisen, Blei und Zinn, Nobili[1]) auf Stahl und Platin. Am lebhaftesten sind die Ringe auf Stahl und Kupfer gefärbt, sie widerstehen der Reibung mit einem weichen Körper, werden aber schon durch den Fingernagel verletzt. — Es ist aus dieser Erscheinung zu schliefsen, dafs die elektrische Entladung die Metallflächen von der Spitze aus sehr regelmäfsig oxydirt, so dafs eine dünne scheibenförmige Oxydschicht entsteht, deren Dicke von der Mitte gegen den Rand hin stetig abnimmt. Unter dieser Annahme erklären die Gesetze der Optik die Ringe und ihre Farben. Grove[2]) hat angegeben, dafs, wenn man den Versuch in einem künstlichen sehr verdünnten Gasraume anstellt, ein Unterschied bemerkt wird, je nachdem die Platte oder die Spitze positiv elektrisch ist. Er füllte die Glocke einer Luftpumpe, in welcher eine Stahlspitze über einer Silber- (Daguerre-) Platte stand, mit 1 Volumen Wasserstoffgas und 2 Volumen atmosphärischer Luft, und verdünnte das Gemenge bis ½ Zoll Quecksilberdruck. Als die Platte mit dem (positiven) Conductor einer Elektrisirmaschine verbunden, die Spitze zur Erde abgeleitet war, brachten die überspringenden Funken auf der Platte einen Oxydfleck hervor, der zum Theil wieder durch die Funken reducirt wurde, als die Spitze mit dem Conductor verbunden war. Doch gesteht der Beobachter, dafs diese Wirkung sehr gering sei, und von ihm nicht bemerkt worden wäre, wenn er nicht früher die Erscheinung in viel stärkerem Grade hervorgebracht hätte durch Anwendung von Volta-Inductionsrollen (§. 990.) statt der Elektrisirmaschine. Die Hauptrolle bestand aus einem 0,9 Lin. dicken, 92 Fufs

---

[1]) *Memorie ed istrumenti Fir.* 1834* 1. 50.

[2]) *Philos. transact. f.* 1852.* 92.

langen Drathe, der in 200 Windungen gelegt war, die Nebenrolle aus einem 0,1 Lin. dicken, 7700 Fuſs langen Drathe mit 10000 Windungen. [774]

775 Die festen Bilder. Es ist früher erwähnt worden (§. 622), daſs, wenn eine Entladung aus einem festen Leiter in ein luftförmiges Medium tritt und daselbst intermittirt, die discontinuirliche Entladung schon in geringer Tiefe des festen Körpers beginnt und mechanische Wirkungen ausübt. Ein Funke verletzt eine reine Metallfläche, aus der er gezogen wird, läſst sie aber unverletzt, wenn sie unrein oder gar gefirniſst ist. Ein ähnlicher Fall tritt bei den Hauchbildern auf Metall ein (§. 769.). Geht nur eine geringe Anzahl von Entladungen zwischen der Metallfläche und der sie deckenden Glimmerfläche über, so beginnt die intermittirende Entladung in der fremden Schicht auf der Oberfläche des Metalles, und das Metall bleibt unverletzt; ist hingegen diese fremde Schicht zerstört und dadurch eben das Hauchbild entstanden, und man läſst die Entladungen fortdauern, so beginnen diese im Metalle selbst und verändern es in bekannter Weise. Ich habe solche festen Bilder auf Silber zuweilen schon durch 50 bis 60 Umdrehungen meiner Elektrisirmaschine erhalten; es waren in ihnen einzelne Theile eines Stempels in bräunlicher Farbe wiedergegeben. Karsten erhielt nach 1000 Umdrehungen seiner Maschine das Bild einer Münze in eine Silberplatte eingeätzt.

776 Die elektrolytischen Bilder. Sie entstehen durch elektrische Zersetzung einer dazu geeigneten Salzlösung (Jodkalium), mit der ein Papier genäſst ist, und sind nach früheren Erfahrungen leicht erklärlich. Wenn eine Platinnadel auf ein mit Jodkaliumlösung befeuchtetes Papier gestellt ist, und positive Elektricität (der Strom) von der Nadel zum Papiere geht, so wird unter der Platinspitze Jod ausgeschieden und dadurch das Papier braun gefärbt; es entsteht hingegen kein Fleck, wenn der Strom vom Papiere zur Spitze geht. Wenn man die Nadel positiv und dann negativ elektrisirt, so daſs abwechselnd der Strom von der Spitze zum Papiere und vom Papiere zur Spitze läuft, so bleibt dennoch die durch den ersten Strom hervorgebrachte Färbung (§. 610.). Es ist ferner bei

[776] den Hauchbildern angenommen worden (§. 765.), daſs, wenn ein Metallstempel auf eine isolirende Platte, diese auf eine Unterlage gesetzt wird, bei abwechselnder Elektrisirung und Entladung des Stempels, eine Reihe abwechselnd entgegengesetzt gerichteter Entladungen zwischen Platte und Unterlage eintritt. Nimmt man beide Erfahrungen zusammen, so sieht man, daſs ein elektrolytisches Bild entstehen muſs durch dasselbe Verfahren, das ein Hauchbild auf Metall erzeugt, wenn an die Stelle der Metallplatte ein mit Jodkaliumlösung befeuchtetes Papier gesetzt wird. Das Jodkalium wird nur von der Hälfte der stattfindenden Entladungen zersetzt werden, der Hälfte nämlich, bei welcher die positive Elektricität in das Salz eintritt, und die andere Hälfte wirkungslos bleiben. Die Elektricitätsart, mit der der Stempel geladen wird, kann keinen wesentlichen Einfluſs auf das Bild haben.

777 Ein Stück Musterkarten-Papier wurde auf Einer Fläche mit einer Lösung von Jodkalium in Wasser befeuchtet, auf eine zur Erde abgeleitete Metallplatte gelegt, und mit einem Glimmerblatte bedeckt. Ein Metallstempel wurde auf den Glimmer gestellt, durch ein Gewicht von 2 bis 14 Unzen angedrückt und mit dem Funkenmikrometer verbunden, dessen Kugeln ½ Linie von einander entfernt standen. Nach 20 Umdrehungen der Maschine, deren positive Elektricität fortwährend mit Funken zwischen den Mikrometerkugeln überging, war ein scharfes Bild auf dem Papier entstanden, in welchem Buchstabe und Ring einförmig braun erschienen. Als der Conductor der Maschine negativ elektrisirt wurde, kam kein Bild zu Stande, sondern ein Haufen unregelmäſsig vertheilter Jodflecke. Der Grund dieses verschiedenen Erfolges ist folgender. Bei positiver Elektrisirung des Stempels wird das Papier durch Entladungen gefärbt, die bei der Ladung des Stempels stattfinden, bei negativer hingegen durch solche, die in den Momenten eintreten, wo die Funken im Mikrometer überspringen. Die ersten Entladungen folgen einander schneller und mit geringerer Elektricitätsmenge, als die zweiten; letztere gehen daher leicht an Stellen des Papiers über, die auſserhalb der Bildfläche liegen. Um ein Bild bei negativer Elektrisirung des Stempels zu erhalten, hat man daher nur

die mit Einemmale entladene Elektricitätsmenge durch die [777] Stellung der Mikrometerkugeln zu verringern. Als diese Kugeln bis $\frac{1}{4}$ Linie einander genähert waren, brachten 20 Umdrehungen der Maschine, welche den Conductor und den damit verbundenen Stempel negativ elektrisirten, ein Bild auf dem Papiere zu Stande, das sich nur darin von dem, durch positive Elektrisirung entstandenen, Bilde unterschied, dafs einige Stellen im Buchstaben und Ringe nicht gleichförmig braun, sondern gefleckt waren.

778 Beide Elektricitätsarten gaben im Wesentlichen Bilder derselben Art, in welchen die erhabenen Stellen des Modelles durch volle, vom Jod gefärbte, Flächen abgebildet sind. Solche Bilder, in welchen nur die Umrisse des Modelles bezeichnet sind, wie sie sich oft im Hauche zeigen, kommen hier nicht vor, weil auf dem feuchten, sich der Glimmerfläche anschliefsenden, Papiere die Entladung in der ganzen Bildfläche leicht gemacht ist. Die schönsten und am gleichmäfsigsten gefärbten Bilder erhält man mit positiver Elektricität; bei Anwendung von negativer erhält man fast immer Flecke, und ich erhielt öfter Bilder, die, obgleich deutlich erkennbar, aus lauter gesonderten Flecken zusammengesetzt waren. Man kann die Bilder längere Zeit erhalten, wenn man sie mit einer zähen Lösung von Gummi arabicum bedeckt; die grofse Schärfe, die sie gleich nach ihrer Entstehung zeigen, geht indefs stets verloren. Scharfe Bilder erhält man nur von ebenen Modellen, die fest auf dem Papiere liegen; so erhielt ich bei einer Münze, in der beide Flächen angewendet wurden, nur die Schriftseite vollständig, diese aber, die 45 Zeichen verschiedener Gröfse enthielt, vollkommen lesbar. Das Bild einer Schrift ist natürlich verkehrt; um es rechtseitig zu erhalten, genügt es, dasselbe frisch gegen ein mit Gummilösung befeuchtetes Papier zu drücken. Eine richtige Befeuchtung des Papieres, auf dem das Bild durch die Entladungen erzeugt wird, erfolgt dadurch, dafs man einige Tropfen der Jodkaliumlösung auf die Fläche des Papieres bringt, und dieses dann leicht zwischen Löschpapier drückt. Das Gelingen des Bildes hängt grofsentheils von der Beschaffenheit des Glimmerblattes ab, mit dem das Papier bedeckt wird;

[778] das Blatt darf nicht dicker als 0,05 Lin. sein, und mufs eine durchaus gleichmäfsige Oberfläche ohne Risse und Brüche besitzen. Vollkommene Isolation der Elektricität durch die untere Glimmerfläche ist nicht erforderlich, und ich habe zuweilen gute Bilder mit einer frischen, auf dem Papiere liegenden, Glimmerfläche erhalten. Es rührt dies daher, dafs die Wasserschicht, welche die frische Fläche deckt, von dem angedrückten Papiere eingesogen, und wegen Abhaltung der Luft bei dem Versuche nicht erneut wird.

779 Eine Uebersicht über die elektrischen Zeichnungen und ihr Zusammenhang unter einander wird durch die folgende Classification gegeben.

Die primär elektrischen Zeichnungen

werden dadurch sichtbar, dafs Elektricität auf Staubtheile anziehend und abstofsend wirkt; sie kommen nur auf schlecht leitenden Flächen vor, und sind nach der Art der angewandten Elektricität verschieden.

Die Staubfiguren entstehen, wenn Elektricität durch eine discontinuirliche Entladung auf eine Platte gekommen ist; die continuirliche Entladung und die Elektricitätserregung durch Influenz liefert sie nicht. Diese Figuren werden stets durch die Elektricitätsart gebildet, die bei der Entladung im Ueberschusse angewendet worden ist; charakterisirt sind sie durch ihre, nach dieser Elektricitätsart, verschiedene Form und Gröfse; bei gehöriger Wahl der Pulver auch durch die Art der Bestäubung oder die Farbe.

Die Staubbilder entstehen bei jeder Art der Entladung, auch bei der Elektricitätserregung durch Influenz; durch letztere am häufigsten und schönsten. Sie werden daher zumeist durch eine Elektricitätsart gebildet, welche der dem Modelle mitgetheilten entgegengesetzt ist. Nach der Wahl der Pulver sind sie bei verschiedener Elektricitätsart verschieden bestäubt oder gefärbt.

Die secundär elektrischen Zeichnungen

werden sichtbar durch eine mechanische oder chemische Aenderung, welche die Oberfläche einer Platte durch elektrische

Entladungen erfahren hat; sie entstehen auf Platten jedes [779] Stoffes, und sind nach der angewandten Elektricitätsart nicht verschieden. Betrifft jene Aenderung nur die, jede Oberfläche deckende, fremde Schicht, so werden die Zeichnungen erst durch die Condensation von Dämpfen sichtbar; wird die Substanz selbst der Oberfläche verändert, so sind sie unmittelbar sichtbar.

Durch Condensation von Dämpfen sichtbare Zeichnungen.

Die Hauchfiguren entstehen durch eine einzelne elektrische Entladung und sind nach dem Stoffe der Platte, auf der sie gebildet werden, verschieden geformt. Auf Harzen sind sie bandförmig, auf Metallen kreisförmig, auf Glas und Glimmer vielfach verästelt.

Die Hauchbilder entstehen durch abwechselnd in entgegengesetzter Richtung erfolgende Entladungen. Sie sind nach dem Stoffe der Platten nicht verschieden; eine unwesentliche Verschiedenheit (die gröſsere oder geringere Trübung der Bildfläche) wird durch die Reinheit der Platten bedingt.

Unmittelbar sichtbare Zeichnungen.

Die Farbenstreifen entstehen durch einmalige Entladung auf der Oberfläche von Glimmer und weichem Glase; sie erscheinen als gefärbte, von zwei scharfgezeichneten dunkeln Linien eingefaſste, Bänder.

Die Priestley'schen Ringe, gefärbte concentrische Ringe, entstehen durch mehrfache Batterieentladungen, welche einen Punkt einer polirten Metallfläche treffen.

Die festen Bilder entstehen auf jeder Platte durch eine Reihe von Entladungen in abwechselnder Richtung, die nach Entstehung des Hauchbildes fortdauern.

Die elektrolytischen Bilder entstehen auf Papieren, die mit einer geeigneten zersetzbaren Flüssigkeit getränkt sind, durch eine Reihe von abwechselnd entgegengesetzt gerichteten Entladungen, von welchen nur die Hälfte wirksam ist, bei welcher sich eine bestimmte Elektricitätsart auf das Papier entladet.



Vierter Abschnitt.

Wirkung des Schliefsungsbogens der Batterie in die Ferne.

Erstes Kapitel.

Der Rückschlag und die Seitenentladung.

Ein dauernd elektrisirter Körper übt eine Wirkung in die Ferne aus, die ich unter dem Namen der *Influenz* ausführlich beschrieben habe. Auch der Schliefsungsbogen der Batterie, also ein Körper, in welchem Elektricität in Bewegung begriffen ist, übt eine Wirkung in die Ferne aus, welche *Elektro-Induction*, oder, wenn dadurch keine Zweideutigkeit entstehen kann, Induction ohne Beisatz genannt wird. Die Erscheinungen der Influenz und Induction sind durchaus verschieden. Da nun die Bewegung der Elektricität im Schliefsungsbogen bewirkt, dafs jeder Theil des Bogens erst elektrisch und dann unelektrisch wird, so kann man, wenn die Dauer des elektrischen Zustandes auf eine sehr kleine Zeit beschränkt wird, den Schliefsungsbogen auch als dauernd elektrisirten Körper betrachten, der möglicherweise eine Influenz ausübt. In der That lassen sich Erscheinungen aufzeigen, die der Influenz des Schliefsungsbogens zugehören, und von den durch Induction hervorgerufenen streng geschieden sind. Wir werden sehen, dafs durch Influenz ein elektrischer Strom, Seitenentladung genannt, durch Induction ein anderer Strom, der Nebenstrom, hervorgerufen wird, und diese beiden Ströme Nichts mit einander gemein haben. Zum besseren Verständnifs der Seitenentladung mufs ich auf eine Erscheinung zurückgehen, 780

[780] die, der Influenz eines einfachen Conductors zugehörend, dennoch alle Merkmale eines Stromes an sich trägt, und die ich daher absichtlich bis hieher aufgespart habe.

Der Rückschlag.

781 Man habe einen (angenommen positiv) elektrisirten Conductor C (Fig. 140.), und in seiner Nähe einen isolirten Cylinder za, so ist, nach dem Gesetze der Influenz (§. 162.), das dem Conductor zugewandte Ende des Cylinders z negativ, das abgewandte Ende a positiv elektrisch. Beide Enden werden desto stärker elektrisch sein, je näher der Cylinder dem Conductor steht, und je stärker der letztere elektrisirt worden ist. Ueber die Entstehung dieses elektrischen Zustandes wissen wir, daſs der Cylinder elektrisch geworden ist bei der Näherung an den Conductor, und daſs er wieder unelektrisch wird, wenn wir ihn entfernen; oder auch, wenn beide Körper in unveränderter Lage gelassen werden, daſs der Cylinder elektrisch geworden ist durch Elektrisirung des Conductors, und unelektrisch wird durch Entladung des Conductors. Die Elektrisirung des Cylinders kann nur dadurch geschehen, daſs positive Elektricität von dem Ende z des Cylinders zu dem Ende a sich hinbewegt, das heiſst also, ein elektrischer Strom in der durch den punktirten Pfeil bezeichneten Richtung eintritt. Unelektrisch wird der Cylinder, indem die getrennten Elektricitäten sich wieder vereinigen, also ein Strom in der Richtung des ausgezogenen Pfeiles stattfindet. Der erste Strom, beim Laden des Conductors, hat keinen Namen erhalten, der zweite, beim Entladen, wird *Rückschlag* genannt. Der Grund hiervon ist klar. Im ersten Strome ist Elektricität so lange in Bewegung, als der Conductor elektrisirt wird, im zweiten so lange, als er seine Elektricität verliert. Da nun die Elektrisirung des Conductors eine längere Zeit in Anspruch nimmt, als die Entladung, die durch Funkenziehen ausgeführt werden kann, so muſs der zweite Strom stärker als der erste sein, und auffallendere Wirkungen hervorbringen. Daſs der Cylinder nicht isolirt zu sein braucht, um den Rückschlag zu geben,

folgt aus den bei der Influenzerscheinung angeführten Versuchen. [781]

Lord Mahon[1]), der später den Namen Graf Stanhope führte, war der Erste, der den Rückschlag bemerkte und sorgfältig studirte. Ein mit Stanniol überzogener Holzcylinder, 6 Fuſs lang, 1 Fuſs breit, der an dem einen Ende eine Metallkugel von $4\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser trug, wurde als Conductor einer Elektrisirmaschine benutzt, und so stark elektrisirt, daſs die Schlagweite gegen eine Kugel hin 15 bis 18 Zoll betrug. Ein 18 Zoll langer, 2 Zoll breiter Metallcylinder wurde dem Conductor seitlich bis 20 Zoll genähert, so daſs die Axen der Cylinder winkelrecht auf einander standen. In der Verlängerung des Metallcylinders wurde ein zweiter Metallcylinder von 40 Zoll Länge aufgestellt, und ein Raum von $\frac{1}{10}$ Zoll Breite zwischen beiden frei gelassen. So lange der Conductor geladen wurde, ging eine Menge von purpurrothen Funken in diesem Zwischenraume über, bei seiner Entladung ein einziger sehr heller Funke. Dieser helle Funke zeigt den Rückschlag an, der bei kräftiger Elektrisirmaschine und ausgedehnten Cylindern bedeutende Effecte ausübt. So schmelzte der Rückschlag ein Stanniolblatt, das in dem Raume zwischen beiden Cylindern angebracht war, und ertheilte die elektrische Erschütterung. Mahon stellte sich mit ausgestrecktem rechten Arme in die Nähe des Conductors, von dem die Hand etwa 20 Zoll entfernt blieb, und faſste mit der linken Hand einen zur Erde abgeleiteten Metallstab. So oft aus dem Conductor ein Funke gezogen wurde, empfand er eine Erschütterung im linken Arme; wenn er, statt auf dem Boden zu stehen, auf einem Isolirschemel stand, war die Erschütterung heftiger. Zwei isolirte Personen, die sich die Hände gaben, empfanden den Rückschlag, wenn die eine Person ihre Hand gegen den Conductor ausstreckte, die andere eine gute Ableitung berührte, und aus dem Conductor ein Funke gezogen wurde. 782

Der Rückschlag läſst sich mit viel kleineren Apparaten, als den beschriebenen, beobachten. Man stelle ein isolirtes, nicht zu kleines Metallstück (etwa eine 4zöllige Kugel) in 783

[1]) Grundsätze d. Elektricitätslehre* 1789. §. 202 flg.

[783] die Nähe des Conductors einer gewöhnlichen Elektrisirmaschine, und verbinde es durch einen Drath mit der einen Kugel eines Funkenmikrometers, dessen andere Kugel vollkommen zur Erde abgeleitet ist. Stehen die Kugeln ¼ bis ½ Linie auseinander, so sieht man, während der Conductor geladen wird, mehrere Funken im Mikrometer übergehen, und einen einzigen helleren Funken, wenn der Conductor durch Funkenziehen entladen wird. Hier werden beide oben beschriebene Ströme durch Funken sichtbar. Soll nur der Rückschlag sichtbar werden, so isolirt man das neben dem Conductor stehende Metallstück nicht vollkommen, sondern setzt es auf einen Holzfuſs. Dann erscheinen keine Funken beim Laden des Conductors, aber der helle Funke bei seiner Entladung. Die eine längere Zeit hindurch zurückgestoſsenen, kleinen Elektricitätsportionen werden dann nämlich durch den Holzfuſs abgeleitet, und strömen beim Entladen des Conductors plötzlich durch das Mikrometer zurück. Man pflegt diesen Versuch auch so anzustellen, daſs die Blechröhre einer mit Wasserstoffgas gefüllten elektrischen Pistole (§. 603.) in die Nähe des Conductors gebracht, und durch einen Holzstab mit dem Boden des Zimmers verbunden wird, indeſs man den isolirten Drath der Pistole vollkommen ableitet. Das Gas explodirt dann durch den Funken des Rückschlages, indem man aus dem geladenen Conductor einen Funken zieht. Die Erschütterung des thierischen Körpers durch den Rückschlag läſst sich an einem frisch präparirten Froschschenkel in groſser Entfernung von dem Conductor aufzeigen, wie ich schon an einer früheren Stelle (§. 613.) angegeben habe.

Die Seitenentladung.

784 Ich komme nunmehr zu den Influenzerscheinungen des Schlieſsungsbogens der Batterie. Die ersten Beobachtungen darüber rühren von Priestley her [1]). Ein 7 Fuſs langer, mit Stanniol bekleideter, Pappcylinder wurde isolirt; ¼ Zoll

---

[1]) *Philos. transact.** *v.* 59. 57. *v.* 60. 192.

von einem seiner Enden war eine Metallkugel aufgestellt, die [784] durch einen Eisendrath mit der äuſseren Belegung einer leydener Flasche zusammenhing. Als die Flasche durch eine metallene Gliederkette entladen wurde, ging ein heller Funke von der Kugel zu dem Cylinder über, der dadurch gar nicht, oder nur sehr schwach, elektrisirt wurde. Die Elektricität des Cylinders, mit feinen Prüfungsmitteln aufgefunden, war positiv, wenn die Flasche mit positiver Elektricität geladen war. Je kleiner der isolirte Leiter (hier der Pappcylinder) war, desto näher muſste er der Kugel am Eisendrathe gebracht werden, um von ihr einen Funken zu erhalten, und desto weniger Elektricität fand sich in dem Leiter vor. Es ist in diesem Versuche eine vollständige Entladung einer Batterie durch einen Schlieſsungsbogen (die Gliederkette) ausgeführt worden, und es fand daneben eine zweite sichtbare Entladung von Elektricität, von der äuſseren Belegung der Flasche zu einem isolirten Leiter hin, statt. Diese letztere Entladung wird *Seitenentladung* genannt. Es ging in dem angeführten Versuche von der äuſseren Belegung der Flasche ein Drath aus, der in einer Kugel endigte; dieselbe Wirkung, wie dieser Drath, hat der Schlieſsungsbogen selbst, der an der äuſseren Belegung anliegt. Die Seitenentladung läſst sich leichter, als von dem Drathe, von dem Schlieſsungsbogen erhalten, mit einfacheren und kleineren Apparaten, und, was besonders wichtig ist, mit viel schwächeren Ladungen der Batterie. Ich habe daher diese Art des Versuches bei der Bestimmung der Gesetze angewendet [1]), welche die Seitenentladung befolgt.

785 Das allgemeine Schema der Versuche ist in Fig. 141 angegeben. Eine leydener Flasche oder Batterie wird durch einen vollkommenen Schlieſsungsbogen geschlossen, der hier *Stamm* oder Stammdrath heiſsen soll. An einer Stelle *b* des Stammes ist ein gerade ausgespannter Drath *be* angesetzt, der durch eine Luftschicht *cd* in zwei Stücke getheilt ist. Das am Stamme befestigte Stück *bc* heiſst *Ast*, das isolirte Stück *de Seitendrath*. Bei der Entladung einer hinlänglichen Elektricitätsmenge aus der Flasche, geht in dem Luftraume

[1]) Abhandlungen d. Akad. d. Wissensch. 1849.

[785] *cd* ein Funke über. Ich gebrauchte die in §. 363 beschriebene, aus 7 Flaschen bestehende, Batterie, und einen Schliefsungsbogen von der Einrichtung, die bei den Wärmeversuchen beschrieben worden ist (§. 405.). Der innere Arm des zum Schliefsungsbogen gehörigen Ausladers wurde mit dem Gestelle, das den ableitenden Kupferstreifen trägt, durch einen 24½ Zoll langen, ⅜ Lin. dicken Messingdrath verbunden. An diesem Drathe war eine doppelt durchbohrte Schraubenklemme befestigt, und in dieser das Ende eines Fufslangen Drathes (des Astes). Das andere Ende dieses Drathes war mit der einen Kugel des Funkenmikrometers (§. 330.) verbunden, von dessen zweiter Kugel ein, mehrere Fufs langer, isolirter Seitendrath ausging. Die Entfernung des Astes vom Seitendrathe, *cd* der Figur, konnte daher mefsbar verändert werden. Weder Ast- noch Seitendrath waren in gerader Linie ausgespannt; der letztere, der Bequemlichkeit wegen, über eine Seidenschnur in die Höhe, und dann nach unten geführt. Die beiden Dräthe waren gewöhnlich nicht unmittelbar mit dem Mikrometer verbunden, wodurch die freie Beweglichkeit des Mikrometerschlittens hätte gehindert werden können, sondern mit Zwischenstellung von Spiralfedern, die aus einem, ⅙ Linie dicken, gut ausgeglühten Kupferdrathe bestanden.

786 Der Ast wurde durch Berührung der Mikrometerkugeln metallisch mit dem Seitendrathe verbunden, das freie Ende des Seitendrathes an den Knopf eines Goldblattelektroskops angelegt. Als die Entladung der Batterie durch den Stammdrath geschah, zuckten die Blätter des Elektroskops; wurde dies mit einem Säulenelektroskope vertauscht, so zeigte die Bewegung des Goldblattes positive Elektricität an, die hier, wie ferner, zur Ladung der Batterie gebraucht wurde. Ein empfindliches Luftthermometer wurde in den Seitendrath eingeschaltet; es konnte keine Erwärmung des Drathes bemerkt werden. Ich verlängerte das Ende des Seitendrathes durch eine Platinspitze, die auf einem isolirten, mit Jodkaliumlösung genäfsten, Papiere stand; eine zweite Platinspitze war von der ersten auf dem Papiere 1 Linie entfernt, und mit einem isolirten Kupferdrathe verbunden. Es wurde bei der Entladung der Batterie keine Spur von Zersetzung bemerkt. Die Kugeln

des Mikrometers wurden darauf 1 bis 4 Zehntel einer Linie [786] von einander entfernt, und dadurch der Ast vom Seitendrathe getrennt. Als eine hinlängliche Elektricitätsmenge aus der Batterie durch den Stammdrath entladen wurde, erschien zwischen den Kugeln des Mikrometers ein Funke, und der Seitendrath wurde elektrisch. Das Ende dieses Drathes, an ein Säulenelektroskop gehalten, brachte das Goldblatt zum Anschlagen an die Polplatte, welche positive Elektricität anzeigte. An ein Goldblattelektroskop gehalten, brachte das Ende des Seitendrathes die Goldblätter zu einer Divergenz mit positiver Elektricität, die 5 bis 10 Grade betrug. Gröſsere Divergenzen traten ein, wenn der Seitendrath, während der Entladung der Batterie, mit dem Elektroskope verbunden war. Das Ende des Drathes wurde an der oberen 3zölligen Scheibe eines Condensators mit Glasplatte befestigt; nach der Entladung war die Scheibe mit positiver Elektricität geladen, die am Elektroskope eine Divergenz von 25 bis 40 Graden hervorbrachte. Aus diesen Versuchen folgt, daſs in der Seitenentladung einer, mit positiver Elektricität geladenen, Batterie eine Bewegung von positiver Elektricität in der Richtung von dem Aste zum Seitendrathe stattfindet.

787 Die Divergenz des mit dem Ende des Seitendrathes verbundenen Elektroskops, ist eine in hohem Grade wandelbare Erscheinung. Bei scheinbar identischen Versuchen sieht man häufig die Divergenzen vom Einfachen zum Vierfachen steigen, und es kommt nicht selten vor, daſs der Seitendrath fast ganz unelektrisch bleibt. Läſst man den Apparat ungeändert, und steigert die Elektricitätsmenge der Batterie, so ist damit keinesweges eine Zunahme der Divergenzen bedingt. So fand ich einmal bei Anwendung der Elektricitätsmengen 14 15 16 die Divergenzen des Elektroskops 20 13 5; ein anderes Mal für die Mengen 16 17 18 die Divergenzen 15 7 12 Grad. Aenderte ich die Entfernung des Astes vom Seitendrathe, und damit die Länge des überspringenden Funkens, wodurch zugleich eine Aenderung der Ladung der Batterie geboten wurde, so gab ein längerer Funke nicht immer die gröſsere Divergenz. Die Divergenzen des Elektroskops sind von der Seitenentladung abhängig, aber zugleich von dem Rückschlage.

[787] Der Seitendrath, der während der Entladung der Batterie vom Aste, wie dieser vom Stammdrathe, elektrisch gemacht wird, wird nach der Entladung durch den Ast wiederum gröſstentheils entladen. Der Funke zwischen Ast und Seitendrath ist daher ein doppelter, und rührt her von der Bewegung derselben Elektricitätsart nach entgegengesetzten Richtungen. Die Entladung des Seitendrathes ist nach Umständen, welche die Seitenentladung nicht ändern, mehr oder weniger vollständig. Sie kann absichtlich unvollständig gemacht werden, wenn man das Ende des Drathes mit einer Condensatorscheibe verbindet (§. 786.). Bei der Untersuchung der Seitenentladung ist daher die Beobachtung des Elektroskops nur zur Unterstützung des Auges zu gebrauchen. Eine Divergenz des Elektroskops setzt immer einen Funken im Mikrometer voraus, aber nicht umgekehrt.

788 Der Seitenstrom, das heiſst die Elektricitätsbewegung, die von dem Stamme durch den Ast und die Luftschicht im Mikrometer sich bis zum Ende des Seitendrathes fortpflanzt, übt im durchströmten Drathe keine an den bisher angewandten Instrumenten erkennbare Wirkung aus. Wir entbehren also eines, an anderen elektrischen Strömen angewandten, Maaſses für den Seitenstrom, und müssen uns an die Schlagweite halten, die keinen Schluſs auf die in Bewegung gesetzte Elektricitätsmenge gestattet. Ich werde daher für den Seitenstrom auch die Bezeichnung: Seitenentladung gebrauchen, und diese durch die Länge der Luftschicht messen, die sie zu durchbrechen vermag. Um die Aenderung der Seitenentladung nach verschiedener Anordnung ihrer Leiter zu erfahren, müſste man die Batterie und ihre Ladung constant nehmen, und in den einzelnen Fällen die Schlagweite der Seitenentladung mit dem Mikrometer aufsuchen. Diese Methode ist indeſs beschwerlich und ungenau, da der Fehler beim Einstellen des Mikrometers häufig wesentliche Unterschiede verdeckt. Ich habe daher zuerst die Abhängigkeit der Schlagweite von der Ladung der Batterie bestimmt, um danach die, bei beliebigen Ladungen, beobachteten Weiten durch Rechnung auf eine constante Ladung reduciren zu können.

789 **Schlagweite der Seitenentladung.** Die Kugeln des Mikrometers, welche die Enden des Ast- und Seitendrahtes bilden, wurden in verschiedene Entfernungen von einander gestellt; bei jeder Entfernung wurde die kleinste Elektricitätsmenge gesucht, mit der die Batterie geladen werden mufste, damit ein Funke im Mikrometer erschien. Ich ging nämlich von einer mehr als hinlänglichen Elektricitätsmenge aus, und verminderte sie successiv um eine Einheit, bis der Funke ausblieb. Gab die zuletzt gebrauchte Menge, um 1 vermehrt, den Funken wieder, so ist die volle Zahl in der Tafel angegeben; mufste sie aber um 2 vermehrt werden, um den Funken erscheinen zu lassen, so wurde die Elektricitätsmenge, bei welcher der Funke ausblieb, um $1\frac{1}{2}$ vermehrt, für die zur Schlagweite gehörige Menge angenommen. Die Kugeln der Maafsflasche standen $\frac{1}{2}$ Linie von einander entfernt.

Schlagweite d. Seitenstromes x	Elektricitätsmenge d. Batterie beobacht. q	berechn.
0,1 Lin.	12	12,1
0,2	16	17,1
0,24	18	18,7
0,3	20	20,9
0,34	22	22,3
0,4	25	24,2
0,44	26	25,4
0,48	27	26,5

Die Schlagweiten verhalten sich nahe wie die Quadrate der Elektricitätsmengen der Batterie, wie aus der Berechnung erhellt, die nach der Relation $q = 38{,}23\sqrt{x}$ geführt ist.

790 Die Flaschenzahl der Batterie war hierbei unverändert geblieben. In den folgenden Versuchen, bei welchen der Schliefsungsbogen eine andere Länge besafs, wurden bei zwei bestimmten Schlagweiten die Elektricitätsmengen gesucht, je nachdem 2 bis 7 Flaschen der Batterie gebraucht wurden.

Flaschenzahl s	Schlagweite 0,1 Lin. beobacht. q	berechn.	Schlagweite 0,4 Lin. beobacht. q	berechn.
2	6	5,2	11	10,4
3	8	7,8	16	15,6
4	10	10,4	21	20,7
5	13	13	26	25,9
6	15	15,6	31	31,1
7	18	18,1	36	36,3

[790] Die Rechnung ist nach dem Ausdrucke geführt $q = 8{,}2 . s\sqrt{x}$ wo x die Schlagweite bezeichnet. Das Gesetz, das sich hierin findet, ist in einer großen Anzahl von Versuchen ohne Ausnahme bestätigt worden. Es heißt in Zeichen und Worten:

$$x = a\left(\frac{q}{s}\right)^2$$

Die Schlagweite der Seitenentladung ist proportional dem Quadrate der Dichtigkeit der in der Batterie angehäuften Elektricität.

791 Die Seitenentladung ist nach Beschaffenheit des Ast-, Seiten- und Stammdrathes verschieden. Um diese Aenderungen aufzusuchen, wendete ich 3 Flaschen der Batterie an, gab der Formel des vorigen Paragraphs die Form $q = b\sqrt{x}$, wo $b = \frac{3}{\sqrt{a}}$, und suchte für b einen Mittelwerth aus mehreren Beobachtungen. Diese Constante b giebt die Elektricitätsmenge an, die, aus 3 Flaschen entladen, eine Seitenentladung von 1 Linie Schlagweite liefert; die Stärke der Seitenentladung ist daher dem Quadrate von b umgekehrt proportional.

Länge des Seitendrathes. Die eine Kugel des Mikrometers war mit dem Stamme durch einen $3\frac{1}{2}$ Zoll langen Drath verbunden, während an die andere Kugel ein kupferner Seitendrath von verschiedener Länge angesetzt wurde.

Länge d. Seitendrathes	7	56	160,6 Zoll
Constante b	62,9	37,3	32,5

Eine weitere Verlängerung des Seitendrathes bis 328 Zoll brachte keine wesentliche Aenderung der Schlagweite hervor. Die Seitenentladung nimmt also mit Verlängerung des Seitendrathes nur bis zu einer bestimmten Gränze zu. Hat man bei einem Seitendrathe von 7 Zoll Länge die Seitenschlagweite 1 erhalten, so ist diese, wie die Formel $q = b\sqrt{x}$ lehrt, durch Verlängerung des Seitendrathes auf 3,75, aber nicht weiter, zu steigern.

792 Länge des Astdrathes. Der Ast wurde, so weit möglich, auf Null gebracht, indem der Zapfen, der die Kugel des Mikrometers trägt, unmittelbar in dem Stamme des Schließungsbogens angebracht wurde. Als Seitendrath diente hier und in der Folge der 160,6 Zoll lange Kupferdrath. Nach

Untersuchung der Schlagweite wurde das Mikrometer durch [792] einen $\frac{1}{8}$ Linie dicken Kupferdrath mit dem Stamme verbunden, und die Länge dieses Drathes verändert.

Länge d. Astes	0	7	61	188 Zoll
Constante b	25,6	27,9	32	34,7

Die Seitenentladung nimmt also mit Verlängerung des Astes ab, aber in sehr geringem Verhältnisse zur gesteigerten Länge. Dies erscheint deutlicher, wenn man die Schlagweite für eine bestimmte Elektricitätsmenge (z. B. 16) in der Batterie, nach der Formel $q = b\sqrt{x}$ berechnet.

Länge d. Astes	0	7	61	188 Zoll
Schlagweite	0,39	0,33	0,25	0,21 Linie

Lage des Astes am Stamme. Die Stelle des Stammes, an welcher der Ast befestigt ist, hat einen bedeutenden Einfluſs auf die Stärke der Seitenentladung, wie die folgenden Versuche zeigen. Der angewandte Schlieſsungsbogen maſs von der Kugel der Batterie bis zu ihrem Boden 138 Zoll. Der Astdrath wurde 54 Zoll lang genommen, so daſs bei der ganzen Versuchsreihe das Mikrometer an derselben Stelle stehen bleiben konnte. Zur Bezeichnung der Stelle des Stammes, an welche der Ast angelegt wurde, wird die Länge des Stückes ab (Fig. 141.) angegeben, das zwischen der Batteriekugel und dem Aste lag. Die erste brauchbare Stelle des Stammes lag dicht hinter dem Gelenke des Entladungsapparates, 38 Zoll von der Batteriekugel entfernt, die letzte bei 81 Zoll, vor dem Kupferstreifen, der den Drath der Maaſsflasche berührte. Es wurde aus 3 oder 4 Schlagweiten die Constante b der Formel $q = b\sqrt{x}$ berechnet. 793

Entfernung d. Astes von d. Batteriekugel	38	50	59	61	71	81 Zoll
Constante b	21	23,7	24,7	25,3	34	45,2

Eine constante Elektricitätsmenge, z. B. 17,6, würde Seitenentladungen mit folgenden Schlagweiten gegeben haben.

Entfernung d. Astes	38	50	59	61	71	81 Zoll
Schlagweite	0,7	0,56	0,51	0,48	0,27	0,15 Linie

Die ersten 3 Stellen lagen, wie die letzten, auf einem continuirlichen Drathe, und waren durch kein Verbindungsstück von einander geschieden. Bei einem Intervalle von 20 Zoll

[793] nimmt die Schlagweite auf dem ersten Drathe im Verhältnisse 10 zu 7, auf dem zweiten wie 10 zu 3 ab. Die Schlagweite der Seitenentladung nimmt also ab mit zunehmender Länge des Stückes vom Schliefsungsbogen, das zwischen dem Aste und dem Inneren der Batterie liegt, aber desto schneller, je mehr man sich von dem Inneren entfernt.

794 In einer anderen Versuchsreihe wurde ein Schliefsungsbogen von 231 Zoll Länge angewendet. Das Mikrometer wurde durch einen 7 Zoll langen Astdrath successiv mit 3 verschiedenen Stellen des Stammes verbunden.

Entfernung d. Astes v. d. Batterie	61	101	136 Zoll
Constante *b*	17,9	25	35,7

Die Entladung der Elektricitätsmenge 17,6 würde folgende Schlagweiten geben.

Entfernung d. Astes v. d. Batterie	61	101	136 Zoll
Schlagweite	0,97	0,50	0,24 Linie

Auch hier sehen wir die Schlagweiten auf dem der Batterie näheren Drathstücke langsamer abnehmen, als auf dem entfernteren; auf dem ersten im Intervalle von 40 Zoll im Verhältnisse 1 zu 0,52, auf dem letzten im Intervalle von 35 Zoll wie 1 zu 0,48. Aber besonders auffällig sind die absoluten Werthe der Schlagweiten, mit denen des vorigen Paragraphs verglichen, die hier an gleicher Stelle viel gröfser sind. So ist hier, für gleiche Elektricitätsmenge berechnet, die Schlagweite noch bei 136 Zoll gröfser, als früher bei 81 Zoll, und bei 61 Zoll gröfser, als früher bei 38. Dieser Unterschied der Schlagweiten kann nicht von der verschiedenen Länge der Astdräthe herrühren, deren Einflufs nur gering ist (§. 792.), und ebenso wenig von der, durch die vermehrte Länge des Schliefsungsbogens verminderten Stärke des Entladungsstromes, deren Einflufs hier unmerklich bleibt (§. 796.). Es folgt daher aus den angeführten Versuchen, dafs die Seitenentladung in bestimmter Entfernung vom Inneren der Batterie desto gröfser, je länger der ganze Schliefsungsbogen ist.

795 Einflufs des Stammdrathes auf die Seitenentladung. Die Stärke des Entladungsstromes bei constanter Ladung der Batterie hängt von Beschaffenheit und Dimensionen des Schliefsungsbogens ab. Um den Einflufs dieser Stärke

auf die Seitenentladung zu finden, die stets an derselben Stelle [795] des Schliessungsbogens hervorgebracht wurde, habe ich in den 3 ersten der folgenden Versuchsreihen Länge und Form des Stammes unverändert gelassen, in den 2 letzten geändert. Das Mikrometer war an einem 7 Zoll langen Aste, 61 Zoll von der Batteriekugel entfernt, am Stamme befestigt. Hinter dieser Stelle wurden verschiedene Dräthe in den Stamm eingeschaltet, die drei ersten straff ausgespannt, die beiden letzten spiralförmig gewunden. Die folgende Tafel giebt die, bei den verschiedenen Einschaltungen ermittelten, Werthe von b in der Gleichung $q = b\sqrt{x}$.

des eingeschalteten Drathes			
Metall.	Länge.	Radius.	Constante b
Messing	$24\frac{1}{2}$ Zoll	$\frac{2}{3}$ Lin.	28,4
» »	$24\frac{1}{2}$	$\frac{7}{48}$	27,7
Neusilber	$24\frac{1}{3}$	$\frac{1}{48}$	24,3
Messing	$48\frac{1}{3}$	$\frac{7}{48}$	22,2
Neusilber	32	$\frac{1}{48}$	21,3

In bestimmter Entfernung vom Inneren der Batterie nimmt 796 also die Stärke der Seitenentladung zu, während die Stärke des Entladungsstromes durch Aenderung des Schliessungsbogens abnimmt, aber in einem ausserordentlich geringen Verhältnisse, wie die folgende Berechnung zeigt. Bei constanter Ladung ist die Stärke des Stromes umgekehrt proportional seiner Dauer (§. 491.), also proportional $\frac{1}{\frac{1}{b} + V}$, wo $\frac{1}{b}$ den Verzögerungswerth des constanten, V den des veränderlichen Theiles des Schliessungsbogens bedeutet (§. 436.). Wir wollen V für den dicken Messingdrath zur Einheit annehmen, und $\frac{1}{b}$ nach Schätzung $= 4$ setzen. Der Strom in der ersten Reihe erhält somit den Werth $\frac{1}{5}$, und die Werthe der folgenden Ströme werden durch Vergleichung der Werthe von V gefunden. Es ist $V = \frac{lx}{r^2}$, wo l Länge, r Radius, x Verzögerungskraft des Metalles bedeutet. Für Messing ist $x = 0,5062$, für Neusilber $x = 1,752$ (§. 464.). Die Entladungsströme haben der Reihe nach die Werthe $\frac{1}{5}$ $\frac{1}{24,9}$ $\frac{1}{3206}$ $\frac{1}{45,2}$ $\frac{1}{4184}$.

[796] Nimmt man den schwächsten Strom zur Einheit, und setzt die Schlagweiten der für die Elektricitätsmenge 23,8 berechneten Seitenentladungen hinzu, so erhält man die Zusammenstellung:

Stärke des Entladungsstromes	837 620	168 124,4	1,35 1	92,6	1
Stärke der Seitenentladung	0,70	0,74	1	1,15	1,25 Linie.

Die ersten 3 Spalten, bei welchen der Schliefsungsbogen eine gleiche Länge behielt, zeigen die geringe Zunahme der Seitenentladung im Verhältnisse zur Abnahme des Hauptstromes. Indem dieser von 620 bis 1 abnimmt, nimmt die Seitenentladung nur im Verhältnisse 7 zu 10 zu. Die vierte Spalte zeigt den überwiegenden Einflufs der Länge des Schliefsungsbogens auf die Seitenentladung (§. 794.). Wäre die Stromstärke 92,6 ohne Aenderung der Länge des Schliefsungsdrathes erhalten worden, so hätte die Stärke der Seitenentladung kaum 0,8 Linie betragen können, statt dafs sie durch Verdoppelung der Länge des Stammes auf 1,15 gebracht worden ist. In dem Beispiele der fünften Spalte endlich wirkten Schwäche des Stromes und Länge des Schliefsungsbogens zusammen, die stärkste Seitenentladung herbeizuführen. Es folgt hieraus, dafs die Seitenentladung an einer bestimmten Stelle des Stammes zunimmt, wenn der Verzögerungswerth des Stammes zwischen dieser Stelle und der äufseren Belegung der Batterie vergröfsert wird. Die Zunahme ist bedeutend, wenn die Vergröfserung des Verzögerungswerthes durch Verlängerung des Stammes, äufserst gering aber, wenn sie durch Aenderung der Dicke und des Metalles des Schliefsungsbogens bewirkt wird.

797 Trennung des Astes vom Stamme. Der Ast ist bisher am Stamme befestigt gewesen, und machte daher einen Theil des Schliefsungsbogens aus. Diese Bedingung giebt die Seitenentladung am leichtesten, aber sie ist keineswegs nothwendig. Man kann den Ast vom Stamme trennen, und zur Hervorbringung der Seitenentladung zwei isolirte, einander nahe stehende, Conductoren benutzen, indem man das freie Ende des einen Conductors dem Schliefsungsbogen nähert. Mit Anwendung von Dräthen, statt der Conductoren, wurde

durch diese Anordnung eine sehr kleine Entfernung des Astendes [797] von dem Schliefsungsbogen, und eine starke Entladung der Batterie nöthig. Die folgende Anordnung vermeidet beide Uebelstände. Eine Messingscheibe, $\frac{17}{24}$ Lin. dick, 52 Lin. im Durchmesser, wurde in den Schliefsungsbogen eingeschaltet, indem eine Lücke im Bogen durch zwei *V*förmige federnde Dräthe begränzt wurde, die gegen den Rand der Hinterfläche der Scheibe drückten. Der vorderen Scheibenfläche stand in 2 Lin. Entfernung eine gleiche Scheibe normal gegenüber (so dafs die Verbindungslinie der Centra der Scheiben auf ihren Flächen normal stand), und von der zweiten Scheibe ging ein einige Zolle langer Drath zu der einen Kugel des Funkenmikrometers, an dessen anderer Kugel das Ende des, 160,6 Zoll langen, Seitendrathes befestigt war. Der Ast bestand also hier aus einem isolirten Drathe, der einerseits in einer Scheibe, andererseits in einer Kugel endigte. Bei der Entladung der Batterie ging im Mikrometer zwischen Ast und Seitendrath ein Funke über. Bei den angewandten Ladungen ging kein Funke zwischen den Scheiben über, bei stärkeren Ladungen würde der Uebergang durch Zwischensetzung einer Glastafel verhindert werden müssen. Die Schlagweiten befolgten genau das früher bei befestigtem Aste gefundene Gesetz.

Schlagweite x	Elektricitätsmenge q beobacht.	berechnet.	($q = b\sqrt{x}$) Constante b
0,1 Lin.	8	7,8	
0,2	11,5	11,1	
0,4	15	15,7	
0,8	22	22,2	24,8

Nach jeder Entladung zeigte die Prüfung am Elektroskope, dafs der Ast negativ, der Seitendrath positiv elektrisch geworden war.

Die Seitenentladung im dauernd unterbrochenen Bogen ist bereits früher abgehandelt worden (§. 720.).

Ableitung des Seitendrathes. Bei allen bisher auf- 798 geführten Versuchen ist der Seitendrath vollkommen isolirt gewesen. Es erfolgte aber weder eine Aenderung der Schlagweite, noch des Funkens, als die Isolation aufgehoben, und das Ende des Seitendrathes, das früher mit dem Elektroskope

[798] verbunden war, auf die Zimmerdiele gelegt, oder in eine Alcoholflamme gesteckt worden war. Als ich dagegen dieses Ende mit der allgemeinen Ableitung (einem zu den Gasröhrer des Hauses führenden Drathe) verband, war die Schlagweite geändert, und der Funke, der früher lichtschwach und linienförmig war, erschien gleichsam körperlich und mit starkem Glanze. Ein Luftthermometer, das in den Ast oder Seitendrath eingeschaltet wurde, lehrte durch seine Erwärmung, daſs hier ein merkbarer elektrischer Strom durch den Seitendrath entladen wurde, was früher nicht der Fall war (§. 786.). Dies ist so zu erklären. Der Schlieſsungsbogen der Batterie war, wie gewöhnlich, mit der allgemeinen Ableitung verbunden; die Entladung der Batterie konnte daher auf zwei Wegen stattfinden, sowol durch die ganze Länge des Schlieſsungsbogens, als auch durch Ast, Seitendrath und allgemeine Ableitung. Ast und Seitendrath bildeten also zusammen den einen Zweig eines verzweigten Schlieſsungsbogens (§. 473.), und es war in dem angeführten Versuche nicht die Schlagweite der Seitenentladung, sondern die des Hauptstromes in einem Zweige des Bogens beobachtet worden. Diese Schlagweiten hängen auf sehr merkwürdige Weise mit der Seitenentladung zusammen, so daſs sie hier ihre Stelle finden müssen.

799 Schlagweite im verzweigten Schlieſsungsbogen. Priestley[1]) bog einen dünnen Messingdrath von 1 Yard Länge in die Form des groſsen Omega (Ω), und legte die Drathenden an die Belegungen einer geladenen Flasche. Als die Oeffnung des Omega $\frac{1}{8}$ Zoll betrug, ging durch sie bei der Entladung ein starker Funke über. Bei einem längeren und dünneren Eisendrathe konnte ein Funke von $\frac{1}{2}$ Zoll Länge erhalten werden. Mit 4 bis 5 Yards eines $\frac{1}{10}$ Zoll dicken Eisendrathes war der Funke $\frac{1}{2}$ Zoll lang, und ebenso mit einem $3\frac{1}{2}$ Yards langen Eisendrathe von $\frac{1}{8}$ Zoll Dicke. Als hingegen die Hälfte des letzten Drathes angewendet wurde, konnte nur ein Funke von $\frac{1}{4}$ Zoll erhalten werden, und als das Omega in der Mitte des letzten Drathes gebildet wurde, so daſs die horizontalen Theile desselben sehr lang blieben,

[1]) Geschichte d. Elektricität. 475.

betrug die Länge des Funkens nur $\frac{1}{8}$ Zoll. Aus diesen Versuchen folgt, dafs, wenn ein zwiefacher Weg von der einen Belegung einer Flasche zu der anderen führt, sich also der Schliefsungsbogen in zwei Zweige spaltet, die Entladung durch beide Zweige geht, wenn auch der eine Zweig durch eine Luftschicht unterbrochen ist. Diese Unterbrechung kann desto gröfser sein, ein je gröfserer Theil eines constanten Stammdrathes als voller Zweig benutzt wird. Legt man daher einen unterbrochenen Zweig von veränderlicher Länge an einen constanten Stamm an, so ist die Schlagweite desto gröfser, je länger beide Zweige sind. Wird, umgekehrt, ein unterbrochener Zweig von constanter Länge benutzt, so nimmt die Schlagweite mit der Verlängerung des vollen Zweiges zu. Die gröfste Schlagweite mit einem gegebenen Schliefsungsbogen wird immer erhalten, wenn der unterbrochene Zweig dicht an beide Belegungen der Flaschen angesetzt wird. Es sind dies nothwendige Folgerungen aus den bei der Seitenentladung angeführten Erfahrungen (§§. 793 u. 796.), wie sogleich klar wird, wenn der Zusammenhang zwischen Seitenentladung und Schlagweite im unterbrochenen Zweige aufgezeigt sein wird. [799]

800 Ein Messingdrath AB (Fig. 142.), 48 Zoll lang, $\frac{7}{24}$ Lin. dick, bildete einen Theil des Stammdrathes, der von der Seite A mit dem Inneren der Batterie in Verbindung gesetzt wurde. Als Ast diente ein 7 Zoll langer, $\frac{1}{8}$ Lin. dicker Kupferdrath, und als Seitendrath ein 160,6 Zoll langer, $\frac{3}{8}$ Lin. dicker Kupferdrath, dessen Ende C isolirt war. Es gehörten zu verschiedenen Schlagweiten die folgenden Elektricitätsmengen.

Schlagweite x	Elektricitätsmenge beobacht. q	berechn.	$q = b\sqrt{x}$ Constante b
0,1 Lin.	8	7	
0,4	14	14	
0,7	19	18,6	22,2

Die Versuche brauchten nicht weiter fortgesetzt zu werden. Es ist nach den früheren Erfahrungen klar, dafs die Schlagweiten gröfser gewesen sein würden, wenn der Ast weiter gegen das Innere der Batterie zu gerückt, oder der Stammdrath AB verlängert worden wäre. Ebenso würde die Seiten-

[800] entladung unverändert fortbestehen, wenn das Ende des Seitendrathes C, statt isolirt, zur Erde abgeleitet wäre. Es ist unzweifelhaft, daſs eine Seitenentladung stattfindet, wenn der Seitendrath umgebogen, und das Ende C an den Stamm bei B befestigt wird, wie die punktirte Linie der Figur zeigt. Jetzt bilden Ast und Seitendrath einen unterbrochenen Zweig, während der Stamm AB den vollen Zweig darstellt. Die Schlagweiten waren aber jetzt für gleiche Elektricitätsmengen kleiner, als früher, und zugleich zeigte der Glanz des Funkens, daſs ein Theil des Batteriestromes im unterbrochenen Zweige übergegangen war. Die Beobachtung gab die folgenden Maaſse.

Schlagweite x	Elektricitätsmenge beobacht. q	berechn.	$q = b\sqrt{x}$ Constante b
0,1 Lin.	10	8,6	
0,2	11,5	12,1	
0,4	17	17,1	
0,6	21,5	21,0	
0,7	23,5	22,6	27,1

801 Die Constante b hat hier einen gröſseren Werth, als bei dem vorigen Versuche, wonach die Schlagweiten im unterbrochenen Zweige kleiner sind, als die in dem Seitendrathe. Für die Elektricitätsmenge 18,6 erhält man

	im Seitendrathe	im unterbroch. Zweige.
Schlagweite	0,7	0,47 Linie.

Würde die Elektricitätsmenge, welche im unterbrochenen Zweige übergeht, die Schlagweiten darin bestimmen, so müſsten, da ihre Dichtigkeit gröſser ist, als die des Seitenstromes, die zweiten Schlagweiten gröſser sein, als die ersten. Schon dadurch, daſs die Schlagweiten nicht gröſser sind, wird bewiesen, daſs in beiden Versuchen die Schlagweiten von der Seitenentladung herrühren. Damit ist sogleich erklärt, warum die zweiten Schlagweiten kleiner als die ersten sind. Bei den Versuchen am unterbrochenen Zweige bildet der frühere Seitendrath BD (Fig. 142.) ebensowol einen Ast, wie der frühere Ast AD. Es finden also zwei Elektricitätsbewegungen statt, von A nach D, und von B nach D. Während also bei der reinen Seitenentladung nur die Kugel des Astes durch den

Strom positiv elektrisch wird, mufs bei dem offenen Zweige [801] sowol diese Kugel, als die Kugel des Seitendrathes, positiv elektrisirt werden. Daraus folgt, dafs die Schlagweiten im zweiten Falle kleiner sein müssen, als im ersten.

Der Vorgang im unterbrochenen Zweige ist so anzunehmen: bei der ersten Partialentladung des Hauptstromes in *AB*, geht in der Unterbrechung *D* des Zweiges ein Funke über, der allein der Seitenentladung zugehört. Da nun dieser Funke die Luftschicht in *D* leitend macht (§. 636.), so wird bei den folgenden Partialentladungen mit der Seitenentladung zugleich der Uebergang des Hauptstromes möglich. Hiermit wird der Widerspruch aufgehoben, in dem die Entladung eines Theiles der Batterieladung durch den unterbrochenen Zweig mit den Gesetzen der Zweigströme zu stehen scheint. In einem verzweigten Schliefsungsbogen verhalten sich die Elektricitätsmengen, die durch die einzelnen Zweige hindurchgehen, umgekehrt wie die Verzögerungswerthe der Zweige (§. 474). Der Verzögerungswerth des offenen Zweiges *ADB* (Fig. 142.) mufs aber, da er eine Luftschicht enthält, unermefslich grofs gegen den des vollen Zweiges *AB* sein, und es ist daher zu erwarten, dafs bei jeder Ladung der Batterie die ganze vorhandene Elektricitätsmenge sich durch den vollen Zweig allein entlade. Dies würde in der That der Fall sein, wenn nicht, wie nachgewiesen worden, in der Unterbrechung eine Seitenentladung aufträte, und den Luftraum leitend machte. Hiernach kann ein Theil der Ladung durch den offenen Zweig hindurchgehen und daselbst gleiche Wirkungen, wie im vollen, hervorbringen.

802 Die Ströme im unterbrochenen Zweige sind von Interesse durch ihren Zusammenhang mit der Seitenentladung; für sich bieten sie wenig Belehrung, da weder ihre Stärken noch ihre Schlagweiten unter allgemein gültige Gesetze zu bringen sind. Ich will hiervon ein Beispiel anführen. Bei der §. 800 angegebenen Zusammensetzung der Zweige standen die beobachteten Schlagweiten im unterbrochenen Zweige nahe im Verhältnisse der Quadrate der elektrischen Dichtigkeit in der Batterie, befolgten also das Gesetz der Seitenentladung. Bei Aenderung der Zweige findet man häufig bedeutende Abweichungen von diesem Gesetze. Als ich die Einrichtung des

[802] offenen Zweiges ungeändert, den vollen Zweig hingegen aus einem 32 Zoll langen, $\frac{1}{24}$ Linie dicken Neusilberdrathe bestehen liefs, wurden folgende Beobachtungen erhalten:

Schlagweite x	Elektricitätsmenge q	$\frac{q}{\sqrt{x}}$
0,1 Lin.	12	38
0,2	15	33,5
0,4	17	26,9
0,7	19	22,7

Hier nahmen, wie die letzte Spalte zeigt, die Schlagweiten schneller zu, als die Quadrate der Dichtigkeit in der Batterie. Knochenhauer hat hingegen, in anders angeordneten Versuchen, die Schlagweiten proportional den einfachen Dichtigkeiten angegeben. Es kann also, je nach der Zusammensetzung der Zweige, die Schlagweite in verschiedener Weise von der Ladung der Batterie abhangen. Der Grund dieser Wandelbarkeit der Erscheinung ist in den Nebenwirkungen zu suchen, die bei jeder Verzweigung des Stammdrathes auftreten. Es findet eine Elektricitätsbewegung in den Zweigen statt, die stark genug werden kann, die Zweigströme merklich zu ändern, wie sich dies auf schlagende Weise bei der Wärmebeobachtung in vollen Zweigen herausgestellt hat (§. 488).

Entstehung der Seitenentladung und Schlagweite der strömenden Elektricität.

803 Die Seitenentladung entsteht durch Influenz des, durch den Entladungsstrom elektrisirten, Schliefsungsbogens der Batterie. In einem Drathe, der einem einfachen Conductor nahe steht, tritt, während der Conductor elektrisch wird, ein Strom auf, dessen Richtung der des Rückschlages entgegengesetzt, und der mit keinem besonderen Namen belegt worden ist (§. 781.). Setzt man an die Stelle des Conductors den Schliefsungsbogen einer Batterie, so ist es dieser unbenannte Strom, der in der Seitenentladung sichtbar wird. Nehmen wir daher in Fig. 140 C für den Querschnitt des Schliefsungsbogens, za für den des Astes, so giebt der punktirte Pfeil den Seiten-

strom an, der bei *a* mit einem Funken zum Seitendrathe über- [803]
geht. Die Elektrisirung des Schliefsungsbogens, durch welche die Seitenentladung hervorgerufen wird, kann nicht unmittelbar durch den Hauptstrom bewirkt werden, da dieser den Bogen mit beiden Elektricitätsarten versieht, die Seitenentladung aber stets die Influenz einer bestimmten Elektricitätsart anzeigt. Auch widerspricht dem der Umstand, dafs die Seitenentladung verschieden stark ist nach der Stelle des Stammes, an die der Ast angelegt wird, während der Hauptstrom an jeder Stelle eine durchaus gleiche Stärke besitzt. Die hier geforderte Elektrisirung des Bogens wird durch den nicht ausgeglichenen Theil der beiden bewegten Elektricitäten geleistet, der an dem vollen Bogen mit der Elektricität im Inneren der Batterie gleichnamig, an dem äufseren Theile eines unterbrochenen Bogens ungleichnamig ist. Dies zeigt sich, wenn man die Batterie durch einen isolirten Bogen entladet, wobei der Bogen nach der Entladung mit den genannten Elektricitätsarten dauernd geladen zurückbleibt. In diesem Falle nimmt also die nicht ausgeglichene Elektricität eine feste Anordnung auf der Oberfläche des Bogens an; es ist zu vermuthen, dafs auch bei nicht isolirtem Bogen eine momentane Anordnung der Elektricität stattfindet, und eben diese die Erscheinung der Seitenentladung hervorbringt.

804 Das Zurückbleiben der nicht ausgeglichenen Elektricität findet bei jeder Partialentladung statt (§. 638.). Indem diese Elektricität an die Oberfläche des Bogens tritt, wirkt sie durch Influenz auf den Ast, und erregt in ihm den Seitenstrom. Die nur einen Augenblick dauernde Anordnung dieser Elektricität, das heifst, die Menge davon, die an jeder Stelle des Schliefsungsbogens an die Oberfläche tritt, mufs eine eigenthümliche sein, durchaus verschieden von der bleibenden Anordnung auf einem isolirten Bogen. Nach den Gesetzen der Seitenentladung zu schliefsen, ist die Elektricitätsmenge jeder Stelle desto gröfser, je näher die Stelle dem Inneren der Batterie liegt, und ferner abhängig von der Länge und Form des Schliefsungsbogens, und von der Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie. Nachdem der Bogen elektrisch geworden, wird er wieder unelektrisch. Hierdurch entsteht im Aste ein Rückschlag, ein

[804] Strom nämlich, der dem Seitenstrome folgt, und ihm entgegen gerichtet ist.. Die Stärke des Rückschlages, auch bei constanter Seitenentladung, ist sehr veränderlich; sie kann, durch Anlegung des Seitendrathes an einen Condensator, beliebig geschwächt werden, ohne die Schlagweite der Seitenentladung zu ändern. Jeder Partialentladung im Stammdrathe entspricht eine Partialseitenentladung, und gewöhnlich auch ein Partialrückschlag im Aste und Seitendrathe; die Gesammterscheinung der Seitenentladung wird aus diesen aufeinanderfolgenden Strömen gebildet.

805 Eine wichtige Folgerung ist aus dem Gesetze der Seitenschlagweite zu ziehen. Bei jeder Partialentladung ist die elektrische Dichtigkeit einer bestimmten Stelle des Schliefsungsbogens proportional der elektrischen Dichtigkeit der Batterie. Der Dichtigkeit einer Stelle des Schliefsungsbogens ist ferner die Dichtigkeit auf dem an sie angelegten Aste proportional, so dafs die Dichtigkeit der Elektricität, die an dem freien Ende des Astes auftritt, der elektrischen Dichtigkeit der Batterie proportional wird. Würde die Elektricität auf dem Ende des Astes zu einer festen Anordnung kommen, so müfste ihre Schlagweite, nach dem Gesetze der ruhenden Elektricität, der einfachen Dichtigkeit proportional sein. Die Elektricität ist aber auf dem Aste in Bewegung, während sie entladen wird, und es mufs daher die Geschwindigkeit dieser Bewegung in Betracht kommen. Nach der früher gemachten Annahme (§. 647.) ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer gegebenen Elektricitätsmenge proportional ihrer Dichtigkeit. Das §. 790 gefundene empirische Gesetz führt demnach zu dem theoretischen Satze, dafs *die Schlagweite einer bewegten Elektricitätsmenge dem Quadrate ihrer Geschwindigkeit proportional* ist. Der merkwürdige Unterschied, der hiernach zwischen der Schlagweite der ruhenden und der bewegten Elektricität stattfindet, läfst sich schon am einfachen Schliefsungsbogen klar machen. An dem Fortsatze der Batterie, an dem der Entladungsfunke entsteht, ist Elektricität in Ruhe, und die Schlagweite proportional der einfachen Dichtigkeit, im Schliefsungsbogen selbst aber in Bewegung, und die Schlagweite dem Quadrate der Dichtigkeit in der Batterie proportional. Der Ver-

such selbst ist im vollen Bogen mifslich anzustellen, weil bei [805] einer Unterbrechung im Bogen es nicht zu vermeiden ist, dafs der isolirte Theil des Bogens Elektricität empfängt, ehe die vollständige Entladung eintritt, — gelingt hingegen leicht in dem äufseren Theile eines unterbrochenen Bogens (§. 711.).

806 Es ist im Vorhergehenden von allen Partialentladungen nur eine einzelne betrachtet, und auf die Anzahl der Entladungen keine Rücksicht genommen worden, woraus zu schliefsen wäre, dafs die Seitenentladung allein von der Dichtigkeit und nicht von der Menge der in der Batterie befindlichen Elektricität abhängig ist. Dies ist nicht in aller Strenge richtig. Mit der Elektricitätsmenge in der Batterie nimmt nämlich die Dauer der Entladung zu (§. 436.), und von dieser Dauer ist die Seitenentladung nicht ganz unabhängig. Dennoch mufs der Einflufs der Elektricitätsmenge in den Versuchen unmerklich bleiben. Es ist gezeigt worden (§. 796.), dafs bei einer, durch die Beschaffenheit des Schliefsungsbogens herbeigeführten, Verlängerung der Entladungszeit von 1 bis 620, die Schlagweite der Seitenentladung im Verhältnisse 7 zu 10 zunahm. Die Veränderungen der Elektricitätsmenge, mit welchen die Entladungsdauer proportional geändert wird, sind in den ausführbaren Versuchen dagegen in so enge Gränzen eingeschlossen, dafs keine merkliche Aenderung der Seitenentladung dadurch eintreten kann.

Zweites Kapitel.

Der Nebenstrom.

807 Wenn man in der Nähe des Schliefsungsbogens der Batterie, von ihm durch Luft oder einen starren Isolator getrennt, einen Drath ausspannt und zu einem Ringe schliefst, so wird bei der Entladung der Batterie in diesem Drathe eine Elektricitätsbewegung bemerkt, deren Richtung von der Richtung des Entladungsstromes abhängt. Diese Wirkung des Entladungsstromes nennt man *Elektro-Induction* zum Unterschiede von Inductionen durch Magnetismus und den galvanischen Strom; den erregten Strom selbst den *Nebenstrom* oder secundären Strom, und in Beziehung zu ihm, den Entladungsstrom der Batterie den *Hauptstrom.* Von dem Schliefsungsbogen der Batterie, dem *Hauptbogen*, kann immer nur ein Theil inducirend wirken, dieser Theil soll *Hauptdrath* oder, wenn er spiralförmig ist, *Hauptspirale* heifsen. In gleicher Weise wird die ganze, neben dem Hauptbogen angebrachte, Drathverbindung *Nebenbogen* oder *Nebenschliefsung*, der Theil davon, der dem Hauptdrathe nahe liegt, *Nebendrath* oder *Nebenspirale* genannt. In Fig. 143 ist also *abcd* der Hauptbogen, *bc* der Hauptdrath, *fge* der Nebenbogen, *fe* der Nebendrath. Bei ganz metallischem Nebenbogen bringt der Nebenstrom magnetische, physiologische und thermische Wirkungen hervor und wird, wie der Hauptstrom, durch die Gröfse der thermischen Wirkung gemessen. Bei solchen Messungen findet man sogleich, dafs der Nebenstrom desto stärker ist, je näher der Nebendrath dem Hauptdrathe steht, je näher beide dem Parallelismus kommen, und je stärker der Hauptstrom selbst ist. Bringt man einen gegebenen Nebendrath von einer Stelle eines homogenen Hauptbogens an eine andere Stelle, und ändert dadurch die Lage des Hauptdrathes im Hauptbogen, so bleibt der Nebenstrom

unverändert. Dies würde in der Figur der Fall sein, wenn [807] der Drath *cd* zwischen *b* und die äufsere Belegung der Flasche, der Drath *ab* zwischen *c* und den Knopf der Flasche gesetzt würde.

Ich habe diese Erfahrungen, zu welchen ich später die 808 experimentellen Belege anführen werde, vorweg genommen, um den Unterschied zwischen dem Nebenstrome und dem, im vorigen Kapitel betrachteten, Seitenstrome sogleich klar hinzustellen. Die Richtung des Nebenstromes hängt von der des Hauptstromes ab, die des Seitenstromes nicht. Wir haben gesehen, dafs, welche Lage auch Ast und Seitendrath gegen den Stammdrath haben mögen, stets diejenige Elektricitätsart vom Aste zum Seitendrathe übergeht, die auf den Belegungen der Batterie im Ueberschusse vorhanden ist. Man denke sich eine Batterie mit positiver Elektricität geladen, so geht diese Elektricität vom Aste zum Seitendrathe, oder in der gebräuchlichen Bezeichnung, der Seitenstrom fliefst vom Aste zum Seitendrathe. Der Versuch bleibe ungeändert, nur dafs, vor der Entladung der isolirten Batterie, ihre innere Belegung einen Augenblick zur Erde abgeleitet, und daher der Ueberschufs an Elektricität, der vorher in der inneren Belegung stattfand, jetzt in der äufseren Belegung eintritt. Im Seitenstrome wird nun negative Elektricität vom Ast zum Seitendrathe übergehen, die Richtung dieses Stromes also der früheren entgegengesetzt sein. Haupt- und Nebenstrom hingegen müssen ihre frühere Richtung behalten haben. — Der Seitenstrom nimmt, wie der Nebenstrom, zu mit Annäherung des an den Hauptbogen gestellten Leiters, aber bei dem Seitenstrome ist die Form wie der Parallelismus dieses Leiters mit dem Hauptbogen von keiner Bedeutung. Selbst in dem Falle, wo der in die Länge ausgedehnte Leiter winkelrecht gegen den Hauptbogen steht, findet der Seitenstrom statt, und es ist diese Stellung daher vorzugsweise bei der Untersuchung des Seitenstromes gewählt worden. Ein Nebenstrom findet in diesem Falle nicht statt. Bei Schwächung des Hauptstromes durch Einschaltung eines schlechten Leiters in den Hauptbogen nimmt der Seitenstrom zu, der Nebenstrom hingegen ab. Der auffallendste Unterschied zwischen beiden Strömen wird bei ver-

[808] änderter Stellung des Nebenleiters gegen die Batterie bewirkt. Je näher dieser Leiter der inneren Belegung der Batterie steht, desto stärker ist der Seitenstrom, während der Nebenstrom dadurch nicht verändert wird. Nach diesen Angaben ist es klar, daſs Seiten- und Nebenstrom häufig zusammen vorkommen, indem zwar der Nebenstrom stets den Seitenstrom zum Begleiter hat, aber nicht umgekehrt.

809 Der Nebenstrom kann mit sehr geringen Mitteln aufgezeigt werden. Ich lernte ihn zuerst in folgender Weise kennen [1]). Es war in den Schlieſsungsbogen der Batterie eine cylindrische Drathspirale eingeschaltet, die aus 111 Windungen eines, $\frac{1}{2}$ Linie dicken, nahe 8 Fuſs langen Kupferdrathes bestand. Diese Spirale war von einer $4\frac{3}{4}$ Lin. weiten Glasröhre umgeben, um die ein, 16 Fuſs langer, Kupferdrath in 107 Windungen gelegt war. Als die Enden der oberen Spirale mit dem Platindrathe eines elektrischen Thermometers verbunden waren, brachte die Entladung der Batterie durch die innere Spirale eine, mit der Stärke der Ladung steigende, Erwärmung des Thermometers hervor. Wurde an die Stelle des Thermometers eine Magnetisirungsspirale (§. 532.) gesetzt, in der eine Nähnadel lag, so war diese nach der Entladung magnetisch geworden. Bei freien, einander nahe liegenden, Enden der oberen Spirale ging bei der Entladung der Batterie ein Funke in der Luft über. Es war also hier durch die in der Glasröhre liegende Hauptspirale ein Nebenstrom in der darauf liegenden (Neben-) Spirale erregt worden. Marianini [2]) entdeckte den Nebenstrom im Jahre 1838, indem er durch ihn eine Nadel magnetisch werden sah.

810 Zur Erschütterung des menschlichen Körpers durch den Nebenstrom sind gröſsere Apparate erforderlich. Henry [3]) legte eine Rolle von 3800 Fuſs eines übersponnenen dünnen Kupferdrathes in eine Glasglocke, um deren äuſsere Wandung ein 60 Fuſs langer, mit Band umwickelter, Kupferstreifen gelegt war. Die Enden des langen Drathes waren mit Griffen versehen, die der Beobachter mit beiden Händen faſste; der

[1]) Poggendorff Annalen* 47. 65.
[2]) *Memorie di fisica sperimentale. Modena* 1838.
[3]) *Sturgeon annals of electr.** 4. 308.

Schlag wurde empfunden, während eine leydener Flasche durch [810] den Kupferstreifen entladen wurde. Bei sorgfältig gefertigten Spiralen mit gut von einander isolirten Windungen reichen viel kleinere Drathlängen zum Schlage hin, der besonders leicht durch ebene Spiralen zu erhalten ist (§. 823.)

Stärke des Nebenstromes.

811 Die Stärke des Nebenstromes wird der Erwärmung proportional gesetzt, die er in einem constanten Drathe hervorbringt.

Strom nach der Stärke der Ladung. Mit zunehmender Elektricitätsmenge und Dichtigkeit in der Batterie nimmt der Nebenstrom nach denselben Gesetzen zu, wie der Hauptstrom, was in den folgenden Beobachtungen deutlich ist.

Flaschenzahl	Elektricitätsmenge	Erwärmung im Nebenbogen	
s	q	beobachtet Θ	berechnet
3	10	13,4	13,3
	12	19,4	19,2
	14	26,2	26,1
4	10	10,6	10,0
	12	14,0	14,4
	14	19,6	19,6
5	12	12,2	11,5
	14	15,1	15,7
	16	20,0	20,5
Einheit der Ladung			0,40

Die Berechnung ist nach der Formel $\Theta = 0{,}40\frac{q^2}{s}$ geführt und zeigt, daſs der Nebenstrom dem Producte der in der Batterie befindlichen Elektricitätsmenge in ihre Dichtigkeit proportional ist. — Dies Gesetz ist von häufiger Anwendung, um bei verschiedenen Ladungen beobachtete Nebenströme auf dieselbe Ladung zurückzuführen. Man benutzt danach den für Einheit der Ladung $\left(\frac{q^2}{s} = 1\right)$ berechneten Werth der Erwärmung als Maaſs des Nebenstromes.

812 Strom nach der Länge von Haupt- und Nebendrath. Je länger die einander parallel gelegten Stücke bc und fe (Fig. 143.) vom Haupt- und Nebenbogen sind, desto

[812] stärker ist der Nebenstrom. Es wurden die beiden cylindrischen Spiralen des §. 809 benutzt. Die Hauptspirale setzte in einen geraden Drath fort, auf den zuerst die Nebenspirale geschoben wurde, die durch den Platindrath des Thermometers geschlossen war. In auf einander folgenden Versuchen wurde die Nebenspirale immer weiter auf die Hauptspirale hinauf geschoben, so dafs mehr und mehr Windungen beider Spiralen über einander zu liegen kamen, und damit eine gröfsere Drathlänge der Hauptspirale zur Wirkung auf die Nebenspirale gelangte. Bei jeder Lage wurde die Erwärmung im Thermometer beobachtet, indefs die Elektricitätsmenge 20 aus 5 Flaschen durch die Hauptspirale entladen wurde. Diese Erwärmungen, die in der ersten Spalte der folgenden Tafel angegeben sind, wurden durch einen Nebenstrom hervorgebracht, der zugleich durch Einwirkung des geraden und des gewundenen Theils der Hauptspirale auf die Nebenspirale erregt wurde. Setzen wir die Erwärmungen, die auf Rechnung des geraden Theils kommen, der Länge dieses Theils proportional, und ziehen sie von den beobachteten Erwärmungen ab, so bleiben die in der letzten Spalte angegebenen Erwärmungen übrig, die durch die Einwirkung der dabei bemerkten Anzahl von Windungen der Hauptspirale auf die Nebenspirale erregt wurden.

Totale Erwärmung	Länge des geraden Drathes	zugehörige Erwärmung	Anzahl der Windungen	zugehörige Erwärmung
1,85	134 Linien	1,85		
4,9	102	1,40	24	3,5
7,6	63,4	0,87	53	6,73
11,5	24,8	0,34	82	11,16
14,0	0	0	101	14,0

813 Setzt man die Erwärmung, die der Einwirkung einer Spiralwindung entspricht $= 0,138$, und die n Windungen entsprechende Erwärmung $= 0,138n$, so erhält man die Zusammenstellung:

Zahl der Windungen	Erwärmung beobachtet	Erwärmung berechnet
24	3,5	3,3
53	6,7	7,3
82	11,2	11,3
101	14,0	13,9

[813] Die Erwärmungen sind proportional der Anzahl der Windungen der Hauptspirale, also den Längen des Hauptdrathes, die auf den Nebendrath wirken. Die Elektricitätsmenge q, die mit der Dichtigkeit y durch einen Drath geht, bringt darin eine Erwärmung $\Theta = aqy$ hervor. Die Dichtigkeit der Elektricität im Nebenstrome kann nicht von der Länge des Hauptdrathes abhangen. Es folgt also aus den Beobachtungen, daſs in dem Nebendrathe Elektricitätsmengen erregt werden, die der Länge des wirkenden Hauptdrathes proportional sind. Bei Anwendung groſser Drathlängen nimmt die Erwärmung in geringerem Verhältnisse zu, als die Länge des wirkenden Hauptdrathes; in Folge einer Rückwirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom und der dadurch bewirkten Verzögerung des Nebenstromes (§. 841.).

814 Neigung des Nebendrathes gegen den Hauptdrath. In den letzten Versuchen ist die Länge des Hauptdrathes, und die des von ihm erregten Nebendrathes in gleichem Verhältnisse verändert worden, und dadurch die Lage beider Dräthe gegen einander unverändert geblieben. Man kann aber auch einen unveränderten Hauptdrath auf verschiedene Längen des Nebendrathes einwirken lassen. Die Hauptspirale war, wie in den früheren Versuchen, mit einer Glasröhre bedeckt; zum Nebendrathe wurde ein 13 Fuſs langer, $\frac{3}{8}$ Linien dicker Kupferdrath genommen, der durch den Platindrath des Thermometers geschlossen war. Von diesem Kupferdrathe wurde in einzelnen Versuchen eine verschiedene Länge um die Glasröhre spiralförmig gewunden, so daſs die Windungen überall dieselbe Länge (11 Zoll) auf der Röhre einnahmen. Bei unveränderter Elektricitätsmenge und Flaschenzahl der Batterie wurden die folgenden Erwärmungen beobachtet.

Erregte Drathlänge	Erwärmung
1 Fuſs	2,4
2	4,9
4	8,0
8	15,4

Die Erwärmungen wachsen mit der Länge des, der Wirkung des unveränderten Hauptdrathes ausgesetzten, Nebendrathes. Je kürzer aber der Nebendrath war, desto gröſser

[814] war die Ganghöhe seiner Spirale und damit die Neigung des Nebendrathes gegen den Hauptdrath. Dafs diese geänderte Neigung die Ursache der geänderten Erwärmung war, läfst sich darthun, indem man eine rechtsgewundene Hauptspirale einmal mit einer rechtsgewundenen, das andere Mal mit einer linksgewundenen Nebenspirale gleicher Ganghöhe umgiebt. In beiden Fällen ist die Länge des erregten Nebendrathes und die des erregenden Hauptdrathes dieselbe, aber bei gleichsinnigen Spiralen laufen Haupt- und Nebendrath parallel, und kreuzen einander bei den in verschiedenem Sinne gewundenen Spiralen.

Als bei diesen Spiralen die Erwärmungen im Nebenbogen untersucht wurden, fand sich

bei gleichgewundenen Spiralen die Erwärmung	15,4
bei entgegengewundenen	2,7

Der Nebenstrom ist also desto stärker, je mehr Haupt- und Nebendrath einander parallel liegen.

815 Strom nach der Entfernung des Hauptdrathes vom Nebendrathe. Diese Dräthe mögen irgend welche Form haben, so nimmt der Nebenstrom mit ihrer zunehmenden Entfernung von einander ab; ein einfaches Verhältnifs der Abnahme mit der Entfernung ist aber nur bei gerade ausgespannten Dräthen zu erwarten. Ich legte [1]) zwei, 10 Fufs 6 Zoll lange, 0,55 Linien dicke Kupferdräthe parallel neben einander, und verband die Enden des einen Drathes mit dem Schliefsungsbogen der Batterie, die des anderen mit dem Thermometer. Die Dräthe wurden in verschiedene Entfernungen von einander gebracht, die Abstände ihrer Axen jedesmal durch wiederholte Messungen mit einem Stangenzirkel bestimmt. Die folgende Tafel giebt für jede Entfernung den, aus 9 Beobachtungen berechneten, Werth der Erwärmung bei Einheit der Ladung, der zum Maafse des Nebenstromes dient (§. 811.).

Axenentfern. d. Dräthe	2,71 Lin.	6,78	11,24	16,01	19,61	23,87
Stärke d. Nebenstromes	0,21	0,145	0,119	0,081	0,066	0,054

Die 4 letzten Beobachtungen lassen sich durch den Aus-

[1]) Poggend. Ann.* 50. 7.

druck $\frac{1,30}{d}$ darstellen, wo *d* die Axenentfernung der Dräthe [815] bedeutet. Man hat nämlich

berechnete Werthe	0,116	0,0812	0,0663	0,0545
beobachtete	0,119	0,081	0,066	0,054

Die Berechnung darf nach der Seite der abnehmenden Entfernungen nicht viel weiter fortgesetzt werden. Bei gröfserer Nähe der Dräthe nimmt der Nebenstrom in geringerem Verhältnisse zu, als in dem die Entfernungen abnehmen. Nach der Formel müfste der Nebenstrom für die Entfernungen 6,78 und 2,71 die Werthe 0,19 und 0,48 haben, statt welcher die Werthe 0,14 und 0,21 beobachtet worden sind. Diese Abweichung kann nicht befremden, da auch das Grundgesetz der ruhenden Elektricität über Abstofsung und Anziehung zweier Kugeln nach dem reciproken Quadrate der Entfernung, in welcher die Centra der Kugeln von einander stehen, erst von einer gewissen Entfernung der Kugeln an Geltung gewinnt. Dort war durch diese Beschränkung des Gesetzes gezeigt, dafs nur bei gröfseren Entfernungen die Massen der Kugeln in den Mittelpunkten vereinigt gedacht werden dürfen, und hier wird ein Gleiches von der Masse der Dräthe in Bezug auf ihre Axen gesagt werden müssen. Es folgt daher aus den angeführten Versuchen, dafs bei geraden Dräthen, deren Masse im Allgemeinen in ihrer Axe vereinigt angenommen werden darf, der Nebenstrom in umgekehrtem Verhältnisse zu der Axenentfernung der Dräthe steht.

816 Die Axenentfernung zweier Dräthe kann auch geändert werden, ohne dafs die Dicke der zwischen den Dräthen liegenden Luftstrecke geändert wird, indem man nämlich einen Drath mit einem anderen von verschiedenem Durchmesser vertauscht. Auch in diesem Falle ist der Nebenstrom desto stärker, je geringer die Axenentfernung der Dräthe ist. Ein 26 Zoll langer, 0,55 Linie dicker Kupferdrath wurde auf horizontal liegenden Glasröhren straff ausgespannt, und diente als Hauptdrath. Vor seinen Enden waren zwei verticale Glasstäbchen in den Tisch eingelassen, an welchen der, gleichfalls auf den Glasröhren ruhende, Nebendrath hart anlag. Die Verticalebenen, welche durch die einander zunächst liegenden

[816] Seiten der Dräthe gedacht werden, hatten daher bei verschieden dicken Nebendräthen dieselbe Entfernung. In Fig. 144 sind die Dräthe *a* und *b* im Querschnitte gezeichnet. Der Nebenbogen, der das Thermometer enthielt, bestand aus einem 0,55 Lin., und einem 0,17 Lin. dicken Kupferdrathe, von welchen eine Länge von 26 Zoll dem Hauptdrathe gegenüber ausgespannt werden konnte. Der Nebenbogen ist in den folgenden Versuchen ungeändert geblieben, aber der Nebendrath, das heifst, der Theil des Nebenbogens, der von dem Hauptdrathe erregt wurde, ist verändert worden.

Dicke des Nebendrathes	0,55 Lin.	0,17 Lin.
Stärke des Nebenstromes	0,135	0,163

Bei gleichem Zwischenraume zwischen zwei Dräthen ist also der Nebenstrom stärker bei einem dünnen, als bei einem dicken Nebendrathe. Eine leichte Rechnung zeigt, dafs die Entfernung der Axen von Haupt- und Nebendrath bei dem dünnen Nebendrathe kleiner war, als bei dem dicken, und der Erfolg daher schon in §. 815 erklärt ist. Man bezeichne mit r und $r_{,}$ die Halbmesser von Haupt- und Nebendrath, mit m die Entfernung der an die Querschnitte der Dräthe gelegten Tangenten, ferner mit x die Entfernung ab der Mittelpunkte der Dräthe (Fig. 144.). Der Anblick der Figur zeigt $x^2 = (r - r_{,})^2 + (r + r_{,} + m)^2$. In den beiden angeführten Versuchen betrug m 0,58 Lin., für den
ersten Versuch hat man $2r = 2r_{,} = 0{,}55$ Lin. daher $x = 1{,}13$ Lin.
zweiten $2r = 0{,}55$ $2r_{,} = 0{,}17$ $x = 0{,}96$

817 **Strom nach dem Verzögerungswerthe des Nebendrathes.** Dieser Werth ist $\frac{lx}{r^2}$, wo l und r Länge und Radius des Drathes, x eine für sein Metall geltende Constante bezeichnet. Dafs ein gröfserer Verzögerungswerth des Nebendrathes bei unveränderter Nebenschliefsung keine Schwächung des Nebenstromes nach sich zieht, kann schon aus den Versuchen des vorigen Paragraphs geschlossen werden. Der Verzögerungswerth des dicken zu dem des dünnen Drathes verhielt sich wie $(17)^2$ zu $(55)^2$, oder wie 1 zu 10, und dennoch war der Strom im dünnen Drathe stärker, als im dicken. In den folgenden Versuchen war der Nebenbogen aus 3 Dräthen

von verschiedenen Verzögerungswerthen zusammengesetzt, einem 0,55 Lin. dicken Kupferdrathe, einem 0,29 Lin. dicken Eisendrathe und einem 0,29 Lin. dicken Kupferdrathe. Jeder dieser Dräthe wurde successiv als Nebendrath gebraucht, und die Stärke des Stromes aus 6 Erwärmungen des im Nebenbogen befindlichen Thermometers berechnet. Der Verzögerungswerth des ersten Drathes ist zur Einheit angenommen. [817]

Verzögerungswerth des Nebendrathes	1	20,4	3,6
Axenentfernung des Haupt- und Nebendrathes	1,13 Lin.	1,008	1,008
Stärke des Nebenstromes	0,068	0,075	0,075

Der Strom ist im zweiten und dritten Versuche von gleicher Stärke, obgleich die Verzögerungswerthe der dabei gebrauchten Nebendräthe sich wie 20,4 zu 3,6 verhielten. Der geringere Strom im ersten Versuche ist bei der gröfseren Axenentfernung der Dräthe nicht auffallend. Es folgt daher, dafs der Nebenstrom von dem Verzögerungswerthe des Nebendrathes unabhängig ist.

818 Lage des Haupt- und Nebendrathes im Hauptbogen. Im Schliefsungsbogen der Batterie wurde ein 13 Fufs langer, 0,55 Lin. dicker Kupferdrath und ein 32 Zoll langer $\frac{1}{24}$ Lin. dicker Neusilberdrath angebracht, der Kupferdrath zuerst vor, dann hinter den Neusilberdrath gestellt, so dafs er zuerst der inneren, dann der äufseren Belegung der Batterie zunächst lag. Der Hauptstrom wird, wie wir wissen, durch diese verschiedene Stellung der Dräthe nicht geändert. Dem Kupferdrathe parallel lag ein zweiter Kupferdrath als Nebendrath, der durch das Thermometer geschlossen wurde. Die Stärke des Nebenstromes, aus 9 Beobachtungen des Thermometers berechnet, war durchaus dieselbe für beide Lagen des Haupt- und Nebendrathes am Hauptbogen. Es ist demnach der Nebenstrom unabhängig von der Stelle des Hauptbogens, durch die er erregt wird.

In dem Vorhergehenden ist dafür gesorgt worden, dafs bei allen mit einander verglichenen Versuchen der Haupt- und Nebenbogen unverändert blieb. Ehe ich zu den sehr verwickelten Aenderungen des Nebenstromes übergehe, die durch Einschaltungen in den Haupt- und Nebenbogen herbeigeführt werden, müssen einige Vorrichtungen beschrieben werden,

[818] durch welche Nebenströme in der, bei dieser Untersuchung nöthigen, Stärke erhalten werden.

819 Die Inductionsspiralen. Der Nebenstrom nimmt zu mit der Länge des wirkenden Hauptdrathes, man mufs daher, um starke Nebenströme zu erhalten, grofse Drathlängen anwenden, die, gerade ausgespannt, schwer zu handhaben sind. Man bildet deshalb, wie bereits §. 809 geschehen ist, aus zwei Dräthen cylindrische Spiralen von verschiedenem Durchmesser aber gleicher Ganghöhe, umgiebt die dünnere Spirale mit einer Röhre aus Glas oder *Gutta-percha,* und schiebt sie in die dickere Spirale, so dafs die Windungen beider Spiralen parallel laufen. Die eine Spirale (gewöhnlich die kürzere, innere) wird als Haupt-, die andere als Nebenspirale gebraucht. Hierdurch ist nicht nur eine leichtere Handhabung der beiden Dräthe gewonnen, sondern der Nebenstrom ist auch stärker, als wenn beide Dräthe gerade neben einander ausgespannt wären. Es ist nämlich klar, dafs jedes Stück des Hauptdrathes nicht nur auf das ihm gegenüberliegende Stück des Nebendrathes, sondern auch auf jedes andere Stück desselben einwirkt, und darin einen, nach der Entfernung verschiedenen, Nebenstrom erregt. Bei geraden Dräthen ist die Entfernung eines Stückes des Hauptdrathes von einem Stücke des Nebendrathes der Länge des Nebendrathes beinahe gleich, die zwischen beiden Stücken liegt, bei einer Spirale aber viel kleiner. Bei geraden Dräthen von 20 Fufs Länge z. B. wirkt der Anfang des Hauptdrathes auf das Ende des Nebendrathes aus der Entfernung von 20 Fufs; winden wir die Dräthe zu cylindrischen Spiralen von 1 Zoll Durchmesser, $1\frac{1}{2}$ Lin. Ganghöhe, so wird die Spirale nur $9\frac{1}{2}$ Zoll lang, und dies ist die Entfernung, in welcher das Ende des Nebendrathes vom Anfange des Hauptdrathes erregt wird. Die Hauptspirale besteht aus 76 Windungen, von welchen jede eine Länge von nahe 3 Zoll hat; ein jeder Theil des Drathes, der, als er gerade war, auf das 3 Zoll entfernte Stück des Nebendrathes wirkte, wirkt nun auf dasselbe Stück in der Entfernung von $1\frac{1}{2}$ Lin. Die Verstärkung des Nebenstromes dadurch, dafs die Dräthe in Spiralform statt in gerader angewendet werden, ist sehr beträchtlich, aber doch nicht so grofs, als sich nach der eben

angeführten Bemerkung schliefsen liefse. Dies rührt daher, [819] dafs die durch die Spiralform bedingten Wirkungen Nebenströme entgegengesetzter Richtung erzeugen, die einander zum Theil aufheben, wie der Anblick lehrt, wenn man sich die in einander liegenden Spiralen durch eine, durch ihre Axe gehende, Ebene geschnitten denkt. Jede Halbwindung der Hauptspirale erregt in den beiden ihr entsprechenden, an verschiedenen Seiten jener Ebene liegenden, Halbwindungen der Nebenspirale Ströme, die einander entgegenlaufen.

820 Die in einander liegenden Spiralen haben nothwendig eine ungleiche Drathlänge, aber auch Spiralen von gleicher Drathlänge, die neben einander liegen, können mit gutem Erfolge angewendet werden. Ich liefs um einen mit Siegellack bekleideten Holzcylinder von 6 Zoll 4 Lin. Durchmesser, 9 Zoll Höhe, zwei Kupferdräthe (jeder 53 Fufs lang, $\frac{5}{8}$ Lin. dick), neben einander in 64 Windungen legen, so dafs die Dräthe überall 1 Linie von einander abstanden. Jede der beiden so gebildeten Spiralen machte demnach 32 Umgänge und hatte eine Ganghöhe von 2,63 Linien. Die Enden der Dräthe waren an Kupferstücke gelöthet, die an der oberen und unteren Fläche des Cylinders befestigt und, zur Verbindung mit Leitungsdräthen, mit Druckschrauben versehen waren. Dieser wenig kostbare und zur Erzeugung eines kräftigen Nebenstromes dienliche Apparat soll *Inductionscylinder* heifsen.

821 Am wirksamsten und bequemsten sind die ebenen Drathspiralen, deren Anfertigung mit einiger Schwierigkeit verbunden ist. Sie werden am leichtesten erhalten, wenn man zwei, etwa 2 Zoll breite, Guttaperchastreifen so mit einander verbindet, dafs ihre hohen Kanten ein Kreuz bilden, und die Arme dieses Kreuzes in folgender Weise eintheilt. Es sei 1 die Entfernung, in welcher 2 Windungen der Spirale von einander stehen sollen, und a die willkürliche Entfernung des ersten Theilstriches von dem Mittelpunkte des Kreuzes auf dem ersten Arme des Kreuzes; auf den folgenden Armen wird der erste Theilstrich in die Entfernung $a+\frac{1}{4}$, $a+\frac{1}{2}$, $a+\frac{3}{4}$ vom Mittelpunkte gestellt, alle folgenden Theilstriche aber mit dem Intervalle 1 gezogen (Fig. 145.). Man befestigt einen gut geglühten Kupferdrath in der Mitte des Kreuzes

[821] und führt ihn in Bogenform über alle Theilstriche, indem man ihn an jedem Striche in einem, mit einem warmen Messer gemachten, Schnitte festdrückt. Bei einer Entfernung der Windungen von $1\frac{1}{2}$ Linien kann man so 50 Fuſs Drath und mehr auf einen Durchmesser von kaum 1 Fuſs bringen. Die zweite zu den Versuchen erforderliche Spirale wird so gezogen, daſs ihre Windungen die der ersten decken, was man dadurch erreicht, daſs die Theilstriche auf den Armen des Kreuzes eine entgegengesetzte Lage erhalten. Der Theilstrich $a + \frac{1}{4}$, der auf der einen Spirale zur Rechten von dem Striche a liegt, wird nun auf der Linken angelegt (Fig. 145 und 146.). Diese Spiralen sind schwer eben zu erhalten, da der gröſste Theil des Drathes frei liegt, man gebraucht sie am besten, indem man sie, mit Zwischenlegung einer Glasplatte, horizontal auf einander legt.

822 Ganz ebene und unveränderliche Spiralen müssen auf Holzplatten befestigt werden, die aus 3 Dicken geleimt sind. Nachdem eine Spirallinie in die Holzfläche tief eingeschnitten und mit Siegellack ausgekleidet ist, legt man den Drath in den Schnitt und befestigt ihn darin durch Erwärmen. Nach Vollendung der Spirale wird die Siegellackfläche mit einem heiſsen Bolzen geebnet. Es kommt nicht darauf an, eine geometrische Spirale zu erhalten. Steht daher keine Drehbank mit Vorrichtung zur Spirale zu Gebote, so setzt man die Spirale aus Halbkreisen zusammen, indem man auf einer gewöhnlichen Drehbank die Holzscheibe successiv auf zwei Punkte o und u centrirt (Fig. 147), aus o alle oberen, aus u die unteren Halbkreise schneidet. Die Entfernung ou ist die Hälfte der Entfernung der Windungen der Spirale. In der zweiten Spirale müssen die Windungen nach entgegengesetzter Richtung liegen, wozu man den Punkt o nach der anderen Seite von u legt. Leichter anzufertigen und vollkommen zweckmäſsig ist die Form des Drathes, die Fig. 148 zeigt. Es sind lauter concentrische Kreise in die Holzscheibe geschnitten, und je zwei folgende Kreise durch einen (in der Ausführung gekrümmten) Schnitt mit einander verbunden. Nach Vollendung der ersten Spirale wird der Drath in diesen Schnitten mit Kohle geschwärzt und gegen die zweite

Holzplatte gedrückt, so dafs auf dieser die Lage der Schnitte [822] gegeben ist.

823 Die Enden der Spirale läfst man durch die Holzplatte hindurchgehen und löthet sie an Druckschrauben, zur Befestigung der Verbindungsdräthe. Eine solche Holzscheibe mit Drathspirale soll *Inductionsscheibe* heifsen. Zur Erregung eines Nebenstromes werden zwei gleiche Inductionsscheiben entweder mit Zwischenlegung einer Guttaperchaplatte horizontal auf einander gelegt, oder an Glasstäben vertical befestigt, und einander gegenübergestellt. Ich liefs den einen Glasstab auf einem Brette befestigen, den anderen auf einem Schlitten gehen, so dafs die Entfernung der beiden Scheiben mefsbar verändert werden konnte. Bei meinen Untersuchungen wurden Scheiben der folgenden Dimensionen angewendet. Die *kleinen Inductionsscheiben:* Holzscheibe 6 Zoll Durchmesser, 13 Fufs eines 0,55 dicken Kupferdrathes in 14 Windungen gelegt; des äufsersten Kreises Halbmesser $34\frac{1}{2}$ Lin., Zwischenraum zwischen 2 Kreisen $1\frac{7}{8}$ Linie. Die *grofsen Inductionsscheiben:* Holzscheibe 1 Fufs Durchmesser, 31 Kreise, kleinster Radius 9,7, gröfster 68,3 Lin. Kupferdrath 53 Fufs lang, $\frac{2}{3}$ Linie dick, Zwischenraum zwischen 2 Windungen im Mittel 1,2 Linie. Die grofsen Scheiben, 2 Linien von einander entfernt, liefern einen so kräftigen Nebenstrom, dafs, wenn man die Nebenspirale mit den Armen schliefst, eine merkliche Erschütterung gefühlt wird, wenn die Elektricitätsmenge 6 (Kugeln der Maafsflasche $\frac{1}{2}$ Lin. Entfernung) aus 4 Flaschen (jede mit 2,6 Quadratfufs Belegung) durch die Hauptspirale entladen wird. Durch stärkere Ladungen kann der Schlag zum Unerträglichen gesteigert werden. Werden diese Scheiben 1 Linie von einander entfernt, so gleichen sie, in Betreff der Drathlänge, Anzahl der Windungen und Entfernungen der Windungen von einander den cylindrischen Spiralen des Inductionscylinders (§. 820.). Ich verglich die Wirkung beider Apparate, indem eine Spirale des Cylinders und eine grofse Inductionsscheibe hinter einander in den Schliefsungsbogen der Batterie eingeschaltet, und die Erwärmung in dem einen und dem anderen Nebenbogen gemessen wurde. Es wurde für Einheit der Ladung erhalten:

[823]

Nebenstrom der Inductionsscheibe	0,80
des Inductionscylinders	0,78

so dafs der Cylinder nur wenig schwächer wirkte, als die Scheiben.

824 Bei Entfernung der Inductionsscheiben von einander nimmt der Nebenstrom nach einem sehr verwickelten Gesetze ab. Man betrachte an einer Hauptspirale (Fig. 147.), der eine gleiche Nebenspirale normal gegenübersteht, die Wirkung des obersten Halbkreises. Dieser Halbkreis erregt nicht nur den obersten Halbkreis der Nebenspirale, sondern auch alle übrigen Halbkreise, nur nach Maafsgabe seiner Entfernung von diesen in abnehmender Stärke. Nicht alle diese Erregungen sind dem resultirenden Nebenstrome günstig. Welche nämlich auch die Richtung des Nebenstromes sein mag, so wird sie allein durch die Richtung des Hauptstromes bestimmt. Ist also der Nebenstrom im obersten Halbkreise der Nebenspirale von der Linken zur Rechten gerichtet, so folgt er dieser Richtung in allen Halbkreisen, sowol in den über, als in den unter der gezeichneten Linie liegenden. Der Anblick der Figur zeigt, dafs alle unter der Linie erregten Nebenströme den über der Linie erregten entgegen laufen, diese letzteren also, die der gröfseren Nähe wegen die stärkeren sind, zum Theil aufheben. Dies gilt für jeden Halbkreis der Hauptspirale; ein solcher Halbkreis erregt die über und unter der Linie liegenden Halbkreise der Nebenspirale in der Art, dafs die Erregungen der Halbkreise, die mit dem erregenden gleiche Lage haben (über oder unter der Linie), den resultirenden Nebenstrom verstärken, die Erregungen der Halbkreise mit ungleicher Lage ihn schwächen.

825 Entfernt man die Spiralen von einander, so nehmen die beschriebenen Wirkungen ab, aber in verschiedenem Verhältnisse. Es sei (Fig. 149.) *a* ein kleines Stück einer Windung der Hauptspirale, *b* das ihr normal gegenüberstehende Stück der Nebenspirale, und *c* ein beliebiges Stück der Nebenspirale. Die Erregung von *b* ist umgekehrt proportional der Linie *ab*, die von *c* der Linie *ac*; *ab* steht winkelrecht auf *bc*. Die Hypothenuse *ac* wächst in geringerem Verhältnisse

als ab, und zwar in desto geringerem, je gröfser bc ist. Man [825] kann leicht $bc = x$ angeben für die Bedingung, dafs, während ab von 1 bis 2 wächst, ac nur von 1 bis n wachse, bei welchen Entfernungen die Induction von a auf c nicht merklich verschieden sei. Es sei $n = 1{,}04$ so wird $x = \sqrt{\frac{4-n^2}{n^2-1}} = 6$. Läfst man ab von 1 bis 2 Linien zunehmen, so wächst ac im Verhältnisse 1 zu 1,04 wenn $bc = 6$ Linien ist; hingegen bei einer Aenderung von ab von 10 zu 20 Linien wird dies Verhältnifs für ac erst bei $bc = 60$ Linien eintreten. Man denke sich zwei ebene Spiralen mit einer Ganghöhe von 2 Linien; die Aenderung der in schiefer Richtung ausgeübten Wirkung einer Windung der Hauptspirale, bei Aenderung der Entfernung der Spiralen von 1 zu 2 Linien, wird nur bei 3 Windungen der Nebenspirale merklich sein, hingegen bei 30 Windungen, wenn die Spiralen 10 und 20 Linien von einander entfernt werden. Hierdurch wird es erklärlich, dafs bei den ebenen Spiralen der Nebenstrom bei kleinen Entfernungen der Spiralen wenig, hingegen sehr bedeutend abnimmt mit zunehmenden gröfseren Entfernungen. Das Gesetz der Abnahme des Stromes nach der Entfernung der Spiralen wird dadurch sehr verwickelt, dafs die gebildeten Nebenströme einander entgegenlaufen und sich zum Theil aufheben (§. 824.) und dafs die Induction selbst von der Form der Spiralen abhängt. Es gewährt daher kein Interesse, dieses Gesetz für besondere Spiralen aufzusuchen, zumal für solche, die, wie die meinigen, keine geometrischen Spirallinien bilden. Es mag nur beiläufig eine Versuchsreihe aufgeführt werden, in welcher der Nebenstrom bei verschiedener Entfernung der kleinen Inductionsscheiben (§. 823.) gemessen wurde.

Entfernung d. Spiralen	2,5	5	10	15	20	24	28	31 Lin.
Nebenstrom	0,66	0,61	0,43	0,31	0,20	0,15	0,105	0,078
in Theilen d. stärkst. Str.	100	92	65	47	30	23	16	12

Die Stromstärke wird durch die Erwärmung bei Einheit der Ladung gemessen, die aus 6 Beobachtungen des Thermometers abgeleitet ist. Man hat folgende Verhältnisse des Stromes für die Entfernungen 1 und 2 der Spiralen.

[825] Bei Entfernung der Spiralen 2,5 u. 5 verhielten sich die Ströme wie 100 zu 92

2,5	5	100 zu	92
5	10	-	70
10	20	-	47
15	31	-	25

Zwischen 10 und 20 Linien nahm daher der Strom im umgekehrten Verhältnisse der Entfernungen ab, bei kleineren Entfernungen in einem geringeren, bei gröfseren in einem gröfseren Verhältnisse.

826 **Nebenstrom nach der Beschaffenheit des Hauptbogens.** Der Entladungsstrom der Batterie hängt von der Beschaffenheit des Schliefsungsbogens in der Art ab, dafs die Stärke des Stromes gemessen wird durch $\theta = \frac{a}{1+bV}$, wo V den Verzögerungswerth des veränderlichen Theiles des Bogens bedeutet (§. 491). Hat man daher zwei Erwärmungen im Bogen beobachtet, bei welchen, durch die Zusammensetzung des Bogens, V zwei verschiedene Werthe besitzt, so kann man die Constanten a und b berechnen, und die Stromstärke für jede andere Zusammensetzung des Bogens bestimmen. Der Nebenstrom wird im Allgemeinen durch die Beschaffenheit des Hauptbogens nach gleichem Gesetze geändert, erleidet aber in besonderen Fällen bedeutende Störungen. Hat man durch Messung des Nebenstromes bei zwei Einschaltungen in den Hauptbogen die Constanten a und b bestimmt, und bringt andere Einschaltungen von sehr verschiedenen Verzögerungswerthen an, so giebt die Formel einige der neuen Beobachtungen genau wieder, andere nicht. Ich will ein Beispiel anführen. Der Hauptbogen bestand aus dicken Messing- und Kupferdräthen und einer kleinen Inductionsscheibe (§. 823.), der Nebenbogen aus einer gleichen Scheibe und kurzen Kupferdräthen, die durch den Platindrath des Thermometers (115 Lin. lang, rad. 0,0185) mit einander verbunden waren. Im Hauptbogen waren zwei Federklemmen (§. 366.) angebracht, die zuerst durch ein kurzes Kupferblech, in den folgenden Versuchen durch verschieden dicke Platindräthe verbunden wurden. Diese Klemmen sind mittels messingener Hülsen längs eines Glasstabes verschiebbar, und endigen in Schraubenklemmen zur Befestigung der Verbindungsdräthe (Fig. 150.). Die Federklemmen haben hier zwei einander

entgegenwirkende Schrauben, von welchen die eine *a* zum [826] Oeffnen, die andere *b* zum Zusammendrücken der Spalte dient. Die zweite Schraube kommt nur bei sehr dünnen Dräthen, für welche die Spalte zu weit klafft, zur Anwendung. Dies zur Einschaltung abgemessener Dräthe in den Schliefsungsbogen sehr bequeme Instrument soll *Einschaltestativ* heifsen. — In den folgenden Versuchen bestanden die eingeschalteten Dräthe aus Platin, und hatten die in der Tafel angegebenen Dimensionen; die Verzögerungswerthe, von welchen die Logarithmen angewendet werden, sind nach dem Ausdrucke $\frac{l}{144 \cdot r^2}$ berechnet, da für sie ein Platindrath von 1 Fuſs Länge, 1 Linie Radius zur Einheit angenommen ist. Die Stärke des Nebenstromes ist aus 6 Beobachtungen berechnet.

827

No.	Einschalt. in d. Hauptbog. Länge l	Radius r	lg. V	Stärke des Nebenstromes beobacht. θ	berechn.	Differ.
1	0			1,16	(1,16)	
2	59,2 Lin.	0,04098 Lin.	2,3890	1,01	1,00	0,01
3	143,5	- -	7732	0,78	0,84	0,07
4	137	0,03254	9594	0,70	0,73	0,04
5	116	0,0185	3,3717	0,47	0,46	0,02
6	250	0,0238	4836	0,39	(0,39)	

Aus der ersten und sechsten Beobachtung erhält man $\theta = \frac{1,16}{1 + 0,000648\, V}$ wonach alle Werthe berechnet sind. Die Abweichung zwischen Beobachtung und Berechnung ist in dem 3ten und 4ten Versuche bedeutend. Da die Versuche nach steigendem Verzögerungswerthe der Einschaltungen geordnet sind, so sieht man, daſs die Constanten der Formel, die dem kleinsten und gröſsten Verzögerungswerthe entsprechen, den dazwischenliegenden Werthen nur zum Theil genügen, indem bei einem bestimmten Werthe, des Drathes No. 3, die gröſste Abweichung zwischen der Formel und der Beobachtung stattfindet, die bei kleineren und gröſseren Verzögerungswerthen geringer wird. Dies ist aber, was zu merken ist, keine Eigenschaft des speciellen Drathes 3. Wird der Haupt- oder Nebenbogen geändert, und die Einschaltung mit den vorhin dazu gebrauchten Dräthen vorgenommen, so ist

[827] es nicht mehr der Drath 3, der die gröfste Abweichung von der neuen Formel hervorbringt, sondern ein anderer Drath, und die Abweichung selbst kann gröfser oder kleiner sein, als die oben gefundene. Während man also in den angeführten Versuchen den Verzögerungswerth des Drathes 3 als zu klein ansehen möchte, würde er in den neuen Versuchen als genau erscheinen. Ein Gleiches kann mit jedem Drathe, der zur Einschaltung benutzt wird, der Fall sein. Es läfst sich also nur aussprechen, dafs Einschaltungen in den Hauptdrath, die den Hauptstrom, wenn er allein vorhanden ist, in bekannter Weise schwächen, auch eine Schwächung des Nebenstromes hervorbringen, dafs aber beide Schwächungen nicht überall einander proportional sind, und die Abweichungen von dieser Proportionalität von der Beschaffenheit des Nebenbogens und des constanten Theiles des Hauptbogens abhangen.

828 Nebenstrom nach Beschaffenheit des Nebenbogens. Die Stärke des Nebenstromes hängt, wie man voraussehen kann, von der Beschaffenheit des Weges ab, den er zu durchlaufen hat, ändert sich also mit der Beschaffenheit des Nebenbogens. Im Allgemeinen befolgt der Nebenstrom das Gesetz $\theta = \frac{a}{1+bV}$ wo V den Verzögerungswerth des veränderlichen Theiles des Nebenbogens bezeichnet, und a und b durch den constanten Theil des Bogens bestimmt sind. Aber auch dies Gesetz ist, wie das des vorigen Paragraphs, Störungen unterworfen, und spricht sich nicht rein in den Beobachtungen aus, wie folgende Versuchsreihe zeigt. Haupt- und Nebenbogen waren wie in §. 827 eingerichtet, nur war das Einschaltestativ aus dem Hauptbogen in den Nebenbogen versetzt worden. Die eingeschalteten Dräthe bestanden aus Platin, die Stärke des Stromes wurde aus 6 Beobachtungen des Thermometers abgeleitet.

No.	Einschaltung in d Nebenbogen			Stärke d. Nebenstromes	
	Länge l	Radius r	lg. V	beobachtet θ	berechn.
1	0			1,05	(1,05)
2	137 Lin.	0,03254	2,9594	0,80	0,81
3	116	0,0185	3,3717	0,59	0,60
4	250	0,0238	4836	0,49	0,53
5	278	0,0185	7512	0,37	(0,37)

Die Constanten der Formel aus der ersten und fünften [828.] Beobachtung berechnet, geben $\theta = \frac{1,05}{1 + 0,000326\, V}$. Während die Beobachtung 2 und 3 sich der Formel anschliefst, bleibt 4 bedeutend gegen den berechneten Werth zurück. Man würde den Drath 4 mit einem gröfseren Verzögerungswerth in Rechnung setzen müssen, um eine Uebereinstimmung der Beobachtung mit der Formel zu erhalten. Auch hier ist wohl zu merken, dafs dieser specielle Drath, der von der Formel abweicht, welcher die übrigen Dräthe folgen, sich bei anderer Zusammensetzung des Haupt- und Nebenbogens normal verhalten würde. Man kann das Ergebnifs der beiden letzten Paragraphe für die Empirie so ausdrücken: Bei Einschaltung von Dräthen in den Haupt- oder Nebenbogen befolgt der Nebenstrom im Allgemeinen das in der Formel $\theta = \frac{a}{1 + bV}$ ausgedrückte Gesetz, wo V den Verzögerungswerth des eingeschalteten Drathes bezeichnet. Dies Gesetz erleidet Störungen, die so bedeutend werden können, dafs bei zufällig zur Einschaltung benutzten Dräthen sich einige finden, die mit einem anderen Verzögerungswerthe zu wirken scheinen, als sie in der That besitzen. Den Grund dieser Störungen werden wir weiter unten (§. 859.) kennen lernen.

829 Nebenstrom bei unterbrochenem Nebenbogen. Der Nebenbogen kann an einer Stelle durch Luft unterbrochen sein, ohne dafs deshalb der Nebenstrom ausbliebe. Es erscheint dann mit dem Nebenstrom ein Funke in der Lücke. Zur bequemen Anstellung des Versuches verbindet man das eine Ende einer Nebenspirale mit einer Kugel des Funkenmikrometers, die zweite Kugel des Mikrometers mit dem Platindrathe des Thermometers, und diesen mit dem anderen Ende der Nebenspirale. Wenn der Zwischenraum zwischen den Kugeln nicht zu grofs ist, so erhält man bei der Entladung der Batterie durch die Hauptspirale einen Funken im Mikrometer und eine Erwärmung im Thermometer, die den vorhandenen Nebenstrom anzeigt. Für jede, nach Elektricitätsmenge und Flaschenzahl bestimmte, Ladung der Batterie giebt es eine *gröfste* Entfernung der Mikrometerkugeln, bei welcher der

[829] Funke erscheint; diese Entfernung heifst *Schlagweite* des Nebenstromes. Die Stärke des Nebenstromes wird durch eine Unterbrechung seines Bogens geändert, und zwar in verschiedenem Sinne, je nachdem die Unterbrechung die Schlagweite erreicht oder nicht, wie die folgenden Versuche zeigen. Es wurde eine cylindrische Hauptspirale von 5¼ Fufs Drath benutzt[1]), auf die eine, 12 Fufs Drath enthaltende, Nebenspirale geschoben war. Letztere wurde durch das Thermometer und einen Kupferdrath geschlossen, in dem später eine Lücke von 0,1 Linie Länge angebracht wurde.

Flaschenzahl s	Electr.menge q	voller Nebenbogen Erwärmung Θ	a	unterbrochn. Nebenbog. Erwärmung Θ	a
5	20	6,2	0,076	6,2	0,076
	25	9,0	0,072	8,3	0,066
	30	12,0	0,067	9,8	0,054

Die Erwärmung für Einheit der Ladung $a = \frac{\Theta s}{q^2}$ hat durch die Unterbrechung abgenommen, die bedeutend kleiner, als die Schlagweite des Nebenstromes war.

830 Die folgenden Versuche waren so eingerichtet, dafs die Unterbrechung des Nebenbogens überall nahe der Schlagweite gleich war. Es wurden[2]) die grofsen Inductionsscheiben (§. 823.) gebraucht, und der Nebenbogen war ganz metallisch geschlossen.

Flaschenzahl	Elektricitätsmenge	Erwärmung	a
3	12	21,4	0,45
	14	28,2	0,43
	16	37,8	0,44

Im Nebenbogen wurde hierauf mittels des Funkenmikrometers eine Unterbrechung von 0,4 Linie angebracht, und bei verschiedener Flaschenzahl die Batterie mit nahe der kleinsten Elektricitätsmenge geladen, die zum Uebergehen des Funkens im Mikrometer nöthig war. Es wurden folgende Erwärmungen des Thermometers gefunden.

---

[1]) Poggend. Ann.* 47. 67.
[2]) Abhandl. d. Akad. d. Wiss. 1849.* 83.

[830]

Flaschenzahl s	Elektr.menge q	Erwärmung Θ	a
2	6	9,2	0,51
3	9	14	0,52
4	12	17,2	0,48
5	15	20,3	0,45
6	17	28,7	0,60
7	19	26,7	0,52

Die letzte Spalte enthält die, aus den einzelnen Erwärmungen nach der Formel $a = \frac{\Theta s}{q^2}$ berechneten, Erwärmungen für die Einheit der Ladung, die unter sich verschiedener sind, als es bei vollem Nebenbogen der Fall ist. Dies rührt davon her, daſs der Nebenstrom nicht überall an derselben Stelle der Mikrometerkugeln übergegangen war, wie die an den Kugeln zurückgebliebenen Flecke zeigten. Die Erwärmung ist hier gröſser, als im vollen Bogen, statt daſs im vorigen Paragraphe der entgegengesetzte Fall beobachtet wurde. Dafür ist dieselbe Erklärung zulässig, die früher bei Unterbrechungen im Hauptdrathe (§. 439.) gegeben worden ist. Nach dieser Erklärung findet an den Flächen, welche die Lücke im Bogen begrenzen, eine Condensation der Elektricität statt, die gröſser oder kleiner ist, je nach der Entfernung der Flächen. Durch die Unterbrechung eines Schlieſsungsbogens wird die durch den vollen Bogen gehende Elektricitätsmenge jedenfalls verringert; dieser Verlust kann aber ersetzt und überboten werden durch die vermehrte Dichtigkeit, welche die Elektricität an den Rändern der Unterbrechung erhält. Es kann also die Erwärmung im unterbrochenen Bogen kleiner oder gröſser ausfallen, als im vollen Bogen.

831 Die Schlagweite des Nebenstromes. Diese Schlagweite, die oben definirt worden (§. 829.), ist merkwürdig durch die Rolle, welche die Seitenentladung dabei spielt. Wir haben gesehen (§. 797.), daſs, wenn zwei Metallscheiben einander normal gegenübergestellt werden, von welchen die eine in den Schlieſsungsbogen der Batterie eingeschaltet, die andere mit einem isolirten Drathe verbunden ist, der durch eine Luftschicht in zwei Stücke getrennt wird, die Seitenentladung durch einen Funken in der Lücke sichtbar wird, dessen Länge

[831] dem Quadrate der elektrischen Dichtigkeit der Batterie proportional ist. Denkt man sich die beiden Scheiben durch ebene Spiralen ersetzt, und ein Ende der Nebenspirale mit einem Ende eines isolirten Drathes verbunden, so sind die Bedingungen vorhanden, in diesem Drathe die Seitenentladung erscheinen zu lassen. Der Versuch bestätigt diese Voraussetzung. Eine kleine Inductionsscheibe wurde in den Schliefsungsdrath der Batterie so eingeschaltet, dafs der mit dem Innern der Batterie verbundene Drath an der Mitte der Scheibe befestigt war; 2 Linien von ihr entfernt wurde die zweite Inductionsscheibe aufgestellt und deren Mitte c (Fig. 151.) mit der einen Kugel des Funkenmikrometers verbunden, an dessen zweiter Kugel der isolirte, 160 Zoll lange, Seitendrath zu einem Elektroskope e geführt war. Zu gegebenen Entfernungen der Mikrometerkugeln wurden die folgenden kleinsten Elektricitätsmengen gefunden, die, aus 3 Flaschen entladen, einen Funken im Mikrometer gaben.

Seitenschlagweite x	Elektricitätsmenge q		$(q=b\sqrt{x})$
	beobachtet	berechnet	b
0,1 Lin.	5	5	
0,2	7	7	
0,4	10	9,9	15,7

Die Batterie war mit positiver Elektricität geladen, und das Elektroskop divergirte nach jeder Entladung mit derselben Elektricitätsart.

832 Dieser Versuch stimmt ganz mit Dem überein, was wir bei der Seitenentladung gesehen haben, so dafs also der Drath mc (Fig. 151.) an der Nebenspirale als ein vom Stamme getrennter Ast (§. 797.) anzusehen ist. Befestigt man den Drath, statt an der Mitte, an dem Ende r der Nebenspirale, so bildet er gleichfalls einen getrennten Ast, der aber um die ganze Länge der Nebenspirale (13 Fufs) entfernter vom Innern der Batterie angelegt ist. Hier mufs die Seitenentladung viel schwächer, als im früheren Falle sein, und in der That fand ich die Schlagweite von 0,1 Linie erst mit der Elektricitätsmenge 18, und selbst damit nicht sicher. — Man knüpfe das Ende e des Seitendrathes von dem Elektroskope los und befestige es an den Rand der Nebenspirale (Fig. 152.). Der

Drath *cmr*, der bei *m* durch eine Luftschicht unterbrochen [832] ist, bildet nun die Schliefsung der Nebenspirale, und die Vorrichtung ist gerade die, bei welcher die Schlagweite des Nebenstromes untersucht wird. Es ist klar, dafs hierbei Gelegenheit zu zwei Seitenentladungen, an der Mitte und dem Ende der Nebenspirale, gegeben ist, und dafs die von der Mitte ausgehende, als die bei Weitem stärkere, in der That eintreten wird. Mit dem Funken dieser Seitenentladung, die der ersten Partialentladung der Batterie entspricht, ist aber die Luftschicht bei *m* leitend geworden (§. 637.), und bei den folgenden Partialentladungen kann daher der Nebenstrom ungehindert übergehen. Es ist dies derselbe Vorgang, den ich bei der Schlagweite im verzweigten Schliefsungsbogen hervorgehoben habe. Dafs in der Anordnung, die Fig. 152 zeigt, wirklich der Nebenstrom, und nicht der Seitenstrom allein übergeht, lehrt die Einschaltung eines Thermometers in den Seitendrath Fig. 151 am deutlichsten. Es wurden die grofsen Inductionsscheiben (§. 823.), $2\frac{1}{2}$ Linien von einander entfernt, in der Anordnung der Fig. 151 gebraucht. Der Seitendrath *me* mafs 23 Fufs, hinter dem Mikrometer war bei *t* ein empfindliches Luftthermometer eingeschaltet, die Kugeln des Mikrometers liefsen eine Lücke von 0,1 Linie. Die Elektricitätsmenge 20, aus 3 Flaschen entladen, gab einen glänzenden Funken im Mikrometer, aber keine wahrnehmbare Spur von Erwärmung im Thermometer. Als aber das freie Ende des Seitendrathes an dem Rande der Nebenspirale befestigt war (Fig. 152.), erhielt ich die folgenden Erwärmungen bei der Entladung von 3 Flaschen.

Elektricitätsmenge	6	8	10
Erwärmung	10,2	17,2	28

Es folgt hieraus die Erwärmung 0,83 für Einheit der Ladung, so dafs die Elektricitätsmenge 20, bei welcher der Seitenstrom keine merkliche Erwärmung hervorbrachte, einen Nebenstrom mit der Erwärmung von 110 Linien erzeugt haben würde.

833 Die Abhängigkeit der Schlagweite des Nebenstromes von der Ladung der Batterie, die nach dem Vorhergehenden das bei der Seitenentladung gefundene Gesetz befolgen mufs, wird

[833] durch die folgenden Versuche dargelegt. Es wurden die großen Inductionsscheiben gebraucht, die Enden der Nebenspirale durch $\frac{1}{8}$ Lin. dicke Kupferdräthe mit dem, 4 Fuſs von den Scheiben entfernten, Funkenmikrometer verbunden. Drei Flaschen der Batterie muſsten, mit den folgenden Elektricitätsmengen geladen, durch die Hauptspirale entladen werden, damit der Nebenstrom die dabei stehenden Schlagweiten erhielt. Die Scheiben standen 3 Linien von einander entfernt.

Schlagweite d. Nebenstroms. x	Elektr.menge d. Batterie beobachtet q		berechnet	$(q = b\sqrt{x})$ b
0,1 Linie	5,5	5	5,4	
0,2	8	8	7,7	
0,4	10,5	11	10,8	
0,8	15	15	15,3	
1,6	21,5	22	21,6	17,1

Als die Spiralen 9 Linien von einander entfernt waren, wurden folgende Elektricitätsmengen zu den Schlagweiten erfordert.

0,1	7,0	7,0	6,8	
0,2	9,5	10	9,6	
0,4	14	13,5	13,5	
0,8	18	18	19,1	
1,6	26	27	27,1	21,4

Der Einfluſs der Flaschenzahl der Batterie auf die Schlagweite wird deutlich, indem man für verschiedene Flaschen die Elektricitätsmengen sucht, die zu einer gegebenen Schlagweite nöthig sind; in den folgenden Versuchen betrug diese 0,2 Lin.

Flaschenzahl	s	2	3	4	5	6	7
Elektricitätsmenge	q	5	8	11	13	16,5	19
	$\frac{q}{s}$	2,5	2,6	2,7	2,6	2,7	2,7

Bei constanter Schlagweite des Nebenstromes ist die elektrische Dichtigkeit der Batterie constant, was auch aus der Tafel §. 830 erhellt. Man erhält demnach für die Schlagweite des Nebenstromes dieselbe Formel, die für den Seitenstrom gilt: $x = a\left(\frac{q}{s}\right)^2$.

834 Entladungszeit des Nebenstromes. Aus den bisher ermittelten Thatsachen über die Stärke des Nebenstromes lassen sich die Bedingungen übersehen, unter welchen dieser

Strom zu Stande kommt. Die Stärke des Nebenstromes hängt [834] ab, wie die des Hauptstromes, von der im Nebenbogen in Bewegung gesetzten Elektricitätsmenge, und von der Dauer der Bewegung, der Entladungszeit. Die elektrische Erregung findet in dem Theile des Nebenbogens statt, welcher der Einwirkung des Hauptbogens ausgesetzt ist, und wird durch die Elektricitätsmenge bestimmt, die aus der Batterie durch den Hauptbogen entladen wird. Je gröfser diese Elektricitätsmenge, desto öfter wird der Hauptdrath elektrisch (§. 639), und desto öfter mufs er den Nebendrath elektrisiren. Haupt- und Nebenstrom haben daher eine gleiche Zahl von Partialentladungen. Die elektrische Dichtigkeit in der Batterie bestimmt die Geschwindigkeit der Elektricität sowol im Hauptdrathe, als im Nebendrathe. Bei constantem Haupt- und Nebenbogen circulirt also im Nebenbogen eine Elektricitätsmenge, die der Menge in der Batterie direct proportional, und deren Entladungszeit dieser Menge direct und ihrer Dichtigkeit umgekehrt proportional ist. Die Entladungszeit des Nebenstromes wird ferner durch die Beschaffenheit des Haupt- und Nebenbogens bestimmt. Aendern wir die Beschaffenheit des Nebenbogens, während der erregte Theil desselben und der erregende des Hauptbogens unverändert bleibt, so wird die Zeit geändert, während welcher eine Partialentladung des Nebenstromes im Nebenbogen circulirt. Wird die Beschaffenheit des Hauptbogens geändert, so wird die Dauer einer Partialentladung des Hauptstromes eine andere, und damit wird das Zeitintervall geändert, das die einzelnen Partialentladungen des Nebenstromes von einander trennt. Jede dieser beiden Aenderungen des Nebenstromes bestimmt, wie sich §. 827 und 828 gezeigt hat, die Erwärmung im Nebenbogen und damit den Ausdruck, den wir in der Wärmeformel für die Entladungszeit des Stromes angenommen haben (§. 436.).

Es wäre hiernach leicht gewesen, die Abhängigkeit der Entladungszeit des Nebenstromes von der Beschaffenheit des Haupt- und Nebenbogens empirisch festzustellen, wenn nicht ein Umstand hinzuträte, der die Versuche auf's Aeufserste verwickelt, und die bisherigen Bemühungen, zu einem allgemein gültigen Resultate zu kommen, fruchtlos gemacht hat.

[834] Es ist nämlich bei diesen Versuchen nicht möglich, den Hauptstrom constant zu erhalten, oder ihn durch Aenderung des Hauptbogens in bestimmter Weise zu ändern. Bei alleinstehendem Hauptbogen ändert sich der Entladungsstrom der Batterie nach dem häufig angeführten Gesetze $\Theta = \frac{a q^2}{(1 + b V) s}$ so·dafs, wenn q s V unverändert bleiben, auch die Stärke des Hauptstromes constant bleibt, oder, wenn ein Drath vom Verzögerungswerthe $V_{\prime}$ zum Bogen hinzugesetzt wird, nur dieser Werth in die Formel eingesetzt zu werden braucht, um den neuen Werth des Stromes zu geben. Nicht so, wenn neben dem Hauptbogen ein Nebenbogen angebracht ist. Der Hauptstrom ist dann im Allgemeinen schwächer, als er nach der Formel sein sollte, und zwar ist das Verhältnifs, in dem er geschwächt wird, abhängig von dem Verzögerungswerthe des ganzen Hauptbogens im Verhältnisse zu dem des ganzen Nebenbogens. Es tritt dann noch die Eigenthümlichkeit hinzu, dafs für kleine, wie für grofse Werthe des Verhältnisses der beiden Verzögerungswerthe die Schwächung des Hauptstromes nur gering ist, und für einen bestimmten mittleren Werth ihr Maximum erreicht, wie ich an späterer Stelle (§. 844.) ausführlich zeigen werde.

Magnetisirung durch den Nebenstrom.

835 Es sei, wie in Fig. 153 angedeutet ist, eine wenige Zolle lange, um eine Glasröhre von 2 Lin. Weite gewundene, Drathspirale als Magnetisirungsspirale in den Nebenbogen einer Batterie eingeschaltet; man lege eine unmagnetische Nähnadel in die Glasröhre, und entlade die Batterie durch den Hauptbogen. Die Nadel ist danach magnetisch geworden, wovon man sich überzeugt, indem man sie an einem Coconfaden aufhängt und schwingen läfst, oder leichter, indem man die Enden der Nadel einer leicht beweglichen Bussolnadel nähert, und diese abstofsen läfst. Die Anziehung ist, wie schon früher bemerkt worden, kein sicheres Zeichen. Das Ende der Stahlnadel, das magnetisch *bezeichnet* wird (sich gegen den

Nordpol der Erde richtet) ist nicht durch die Lage in der [835] Glasröhre und die Richtung des Entladungsstromes bestimmt. Um in den einzelnen Versuchen den Sinn der Magnetisirung der Nadel in einem kurzen Ausdrucke angeben zu können, soll die Nadel *normal* oder *positiv* magnetisirt heifsen, wenn, bei Annahme einer gleichen Richtung des Nebenstromes mit dem Hauptstrome, ihre Magnetisirung der elektromagnetischen Regel (§. 502.) entspricht, im entgegengesetzten Falle *anomal* oder *negativ* magnetisirt. Normal magnetisirt ist demnach die Nadel in der Glasröhre, wenn einer mit dem Nebenstrome in der Drathspirale schwimmend gedachten menschlichen Figur, welche die Nadel anblickt, der bezeichnete Pol der Nadel zur Linken liegt. In Fig. 153 ist eine rechtsgewundene Spirale gezeichnet; bei der Richtung des Haupt- und Nebenstromes wird daher die Nadel normal magnetisirt sein, wenn ihr bezeichneter Pol dem Ende *n* der Spirale zunächst liegt. Richtung und Stärke der Magnetisirung durch den Nebenstrom sind veränderlich mit den Bedingungen des Nebenstromes, mit der absoluten Stärke des Stromes, den Dimensionen und der Härte der Nadel und mit der Entfernung der Nadel vom Nebenbogen. Es sind also hier, wie bei der Magnetisirung durch den Hauptstrom (§. 520.), Umstände von Einflufs, die mit der Elektricität Nichts gemein haben, und es mufste ein unfruchtbares Bemühen bleiben, durch magnetisirte Nadeln Aufschlufs über die Eigenschaften des Nebenstromes zu erhalten. Die in dem Folgenden mitgetheilten Versuche sind daher nur als specielle, in Bezug auf die Bedingungen der Magnetisirung des Eisens interessante, Fälle aufzufassen.

836 Magnetisirung nach der Stärke der Ladung der Batterie. Es wurden Haupt- und Nebenbogen aus gutleitenden Dräthen zusammengesetzt und 5 Flaschen der Batterie benutzt, die verschiedene Elektricitätsmengen erhielten. Die folgenden Zahlen geben die Abstofsung einer Bussolnadel durch die im Nebenbogen magnetisirten Nadeln, die 13,9 Linien lang, 0,209 dick waren, und im Handel unter der Bezeichnung Bartleet sharps No. 9 vorkommen.

[834] Es ist nämlich bei diesen Versuchen nicht möglich, den Hauptstrom constant zu erhalten, oder ihn durch Aenderung des Hauptbogens in bestimmter Weise zu ändern. Bei alleinstehendem Hauptbogen ändert sich der Entladungsstrom der Batterie nach dem häufig angeführten Gesetze $\Theta = \frac{a q^2}{(1 + b V) s}$ so dafs, wenn q s V unverändert bleiben, auch die Stärke des Hauptstromes constant bleibt, oder, wenn ein Drath vom Verzögerungswerthe $V_{\prime}$ zum Bogen hinzugesetzt wird, nur dieser Werth in die Formel eingesetzt zu werden braucht, um den neuen Werth des Stromes zu geben. Nicht so, wenn neben dem Hauptbogen ein Nebenbogen angebracht ist. Der Hauptstrom ist dann im Allgemeinen schwächer, als er nach der Formel sein sollte, und zwar ist das Verhältnifs, in dem er geschwächt wird, abhängig von dem Verzögerungswerthe des ganzen Hauptbogens im Verhältnisse zu dem des ganzen Nebenbogens. Es tritt dann noch die Eigenthümlichkeit hinzu, dafs für kleine, wie für grofse Werthe des Verhältnisses der beiden Verzögerungswerthe die Schwächung des Hauptstromes nur gering ist, und für einen bestimmten mittleren Werth ihr Maximum erreicht, wie ich an späterer Stelle (§. 844.) ausführlich zeigen werde.

Magnetisirung durch den Nebenstrom.

835 Es sei, wie in Fig. 153 angedeutet ist, eine wenige Zolle lange, um eine Glasröhre von 2 Lin. Weite gewundene, Drathspirale als Magnetisirungsspirale in den Nebenbogen einer Batterie eingeschaltet; man lege eine unmagnetische Nähnadel in die Glasröhre, und entlade die Batterie durch den Hauptbogen. Die Nadel ist danach magnetisch geworden, wovon man sich überzeugt, indem man sie an einem Coconfaden aufhängt und schwingen läfst, oder leichter, indem man die Enden der Nadel einer leicht beweglichen Bussolnadel nähert, und diese abstofsen läfst. Die Anziehung ist, wie schon früher bemerkt worden, kein sicheres Zeichen. Das Ende der Stahlnadel, das magnetisch *bezeichnet* wird (sich gegen den

Nordpol der Erde richtet) ist nicht durch die Lage in der [835] Glasröhre und die Richtung des Entladungsstromes bestimmt. Um in den einzelnen Versuchen den Sinn der Magnetisirung der Nadel in einem kurzen Ausdrucke angeben zu können, soll die Nadel *normal* oder *positiv* magnetisirt heifsen, wenn, bei Annahme einer gleichen Richtung des Nebenstromes mit dem Hauptstrome, ihre Magnetisirung der elektromagnetischen Regel (§. 502.) entspricht, im entgegengesetzten Falle *anomal* oder *negativ* magnetisirt. Normal magnetisirt ist demnach die Nadel in der Glasröhre, wenn einer mit dem Nebenstrome in der Drathspirale schwimmend gedachten menschlichen Figur, welche die Nadel anblickt, der bezeichnete Pol der Nadel zur Linken liegt. In Fig. 153 ist eine rechtsgewundene Spirale gezeichnet; bei der Richtung des Haupt- und Nebenstromes wird daher die Nadel normal magnetisirt sein, wenn ihr bezeichneter Pol dem Ende *n* der Spirale zunächst liegt. Richtung und Stärke der Magnetisirung durch den Nebenstrom sind veränderlich mit den Bedingungen des Nebenstromes, mit der absoluten Stärke des Stromes, den Dimensionen und der Härte der Nadel und mit der Entfernung der Nadel vom Nebenbogen. Es sind also hier, wie bei der Magnetisirung durch den Hauptstrom (§. 520.), Umstände von Einflufs, die mit der Elektricität Nichts gemein haben, und es mufste ein unfruchtbares Bemühen bleiben, durch magnetisirte Nadeln Aufschlufs über die Eigenschaften des Nebenstromes zu erhalten. Die in dem Folgenden mitgetheilten Versuche sind daher nur als specielle, in Bezug auf die Bedingungen der Magnetisirung des Eisens interessante, Fälle aufzufassen.

836 Magnetisirung nach der Stärke der Ladung der Batterie. Es wurden Haupt- und Nebenbogen aus gutleitenden Dräthen zusammengesetzt und 5 Flaschen der Batterie benutzt, die verschiedene Elektricitätsmengen erhielten. Die folgenden Zahlen geben die Abstofsung einer Bussolnadel durch die im Nebenbogen magnetisirten Nadeln, die 13,9 Linien lang, 0,209 dick waren, und im Handel unter der Bezeichnung Bartleet sharps No. 9 vorkommen.

[834] Es ist nämlich bei diesen Versuchen nicht möglich, den Hauptstrom constant zu erhalten, oder ihn durch Aenderung des Hauptbogens in bestimmter Weise zu ändern. Bei alleinstehendem Hauptbogen ändert sich der Entladungsstrom der Batterie nach dem häufig angeführten Gesetze $\Theta = \frac{aq^2}{(1+bV)s}$ so daſs, wenn q s V unverändert bleiben, auch die Stärke des Hauptstromes constant bleibt, oder, wenn ein Drath vom Verzögerungswerthe $V_{\prime}$ zum Bogen hinzugesetzt wird, nur dieser Werth in die Formel eingesetzt zu werden braucht, um den neuen Werth des Stromes zu geben. Nicht so, wenn neben dem Hauptbogen ein Nebenbogen angebracht ist. Der Hauptstrom ist dann im Allgemeinen schwächer, als er nach der Formel sein sollte, und zwar ist das Verhältniſs, in dem er geschwächt wird, abhängig von dem Verzögerungswerthe des ganzen Hauptbogens im Verhältnisse zu dem des ganzen Nebenbogens. Es tritt dann noch die Eigenthümlichkeit hinzu, daſs für kleine, wie für groſse Werthe des Verhältnisses der beiden Verzögerungswerthe die Schwächung des Hauptstromes nur gering ist, und für einen bestimmten mittleren Werth ihr Maximum erreicht, wie ich an späterer Stelle (§. 844.) ausführlich zeigen werde.

Magnetisirung durch den Nebenstrom.

835 Es sei, wie in Fig. 153 angedeutet ist, eine wenige Zolle lange, um eine Glasröhre von 2 Lin. Weite gewundene, Drathspirale als Magnetisirungsspirale in den Nebenbogen einer Batterie eingeschaltet; man lege eine unmagnetische Nähnadel in die Glasröhre, und entlade die Batterie durch den Hauptbogen. Die Nadel ist danach magnetisch geworden, wovon man sich überzeugt, indem man sie an einem Coconfaden aufhängt und schwingen läſst, oder leichter, indem man die Enden der Nadel einer leicht beweglichen Bussolnadel nähert, und diese abstoſsen läſst. Die Anziehung ist, wie schon früher bemerkt worden, kein sicheres Zeichen. Das Ende der Stahlnadel, das magnetisch *bezeichnet* wird (sich gegen den

Nordpol der Erde richtet) ist nicht durch die Lage in der [835] Glasröhre und die Richtung des Entladungsstromes bestimmt. Um in den einzelnen Versuchen den Sinn der Magnetisirung der Nadel in einem kurzen Ausdrucke angeben zu können, soll die Nadel *normal* oder *positiv* magnetisirt heifsen, wenn, bei Annahme einer gleichen Richtung des Nebenstromes mit dem Hauptstrome, ihre Magnetisirung der elektromagnetischen Regel (§. 502.) entspricht, im entgegengesetzten Falle *anomal* oder *negativ* magnetisirt. Normal magnetisirt ist demnach die Nadel in der Glasröhre, wenn einer mit dem Nebenstrome in der Drathspirale schwimmend gedachten menschlichen Figur, welche die Nadel anblickt, der bezeichnete Pol der Nadel zur Linken liegt. In Fig. 153 ist eine rechtsgewundene Spirale gezeichnet; bei der Richtung des Haupt- und Nebenstromes wird daher die Nadel normal magnetisirt sein, wenn ihr bezeichneter Pol dem Ende *n* der Spirale zunächst liegt. Richtung und Stärke der Magnetisirung durch den Nebenstrom sind veränderlich mit den Bedingungen des Nebenstromes, mit der absoluten Stärke des Stromes, den Dimensionen und der Härte der Nadel und mit der Entfernung der Nadel vom Nebenbogen. Es sind also hier, wie bei der Magnetisirung durch den Hauptstrom (§. 520.), Umstände von Einflufs, die mit der Elektricität Nichts gemein haben, und es mufste ein unfruchtbares Bemühen bleiben, durch magnetisirte Nadeln Aufschlufs über die Eigenschaften des Nebenstromes zu erhalten. Die in dem Folgenden mitgetheilten Versuche sind daher nur als specielle, in Bezug auf die Bedingungen der Magnetisirung des Eisens interessante, Fälle aufzufassen.

836 Magnetisirung nach der Stärke der Ladung der Batterie. Es wurden Haupt- und Nebenbogen aus gutleitenden Dräthen zusammengesetzt und 5 Flaschen der Batterie benutzt, die verschiedene Elektricitätsmengen erhielten. Die folgenden Zahlen geben die Abstofsung einer Bussolnadel durch die im Nebenbogen magnetisirten Nadeln, die 13,9 Linien lang, 0,209 dick waren, und im Handel unter der Bezeichnung Bartleet sharps No. 9 vorkommen.

[834] Es ist nämlich bei diesen Versuchen nicht möglich, den Hauptstrom constant zu erhalten, oder ihn durch Aenderung des Hauptbogens in bestimmter Weise zu ändern. Bei alleinstehendem Hauptbogen ändert sich der Entladungsstrom der Batterie nach dem häufig angeführten Gesetze $\Theta = \frac{a q^2}{(1 + b V) s}$ so daſs, wenn q s V unverändert bleiben, auch die Stärke des Hauptstromes constant bleibt, oder, wenn ein Drath vom Verzögerungswerthe $V_{,}$ zum Bogen hinzugesetzt wird, nur dieser Werth in die Formel eingesetzt zu werden braucht, um den neuen Werth des Stromes zu geben. Nicht so, wenn neben dem Hauptbogen ein Nebenbogen angebracht ist. Der Hauptstrom ist dann im Allgemeinen schwächer, als er nach der Formel sein sollte, und zwar ist das Verhältniſs, in dem er geschwächt wird, abhängig von dem Verzögerungswerthe des ganzen Hauptbogens im Verhältnisse zu dem des ganzen Nebenbogens. Es tritt dann noch die Eigenthümlichkeit hinzu, daſs für kleine, wie für groſse Werthe des Verhältnisses der beiden Verzögerungswerthe die Schwächung des Hauptstromes nur gering ist, und für einen bestimmten mittleren Werth ihr Maximum erreicht, wie ich an späterer Stelle (§. 844.) ausführlich zeigen werde.

Magnetisirung durch den Nebenstrom.

835 Es sei, wie in Fig. 153 angedeutet ist, eine wenige Zolle lange, um eine Glasröhre von 2 Lin. Weite gewundene, Drathspirale als Magnetisirungsspirale in den Nebenbogen einer Batterie eingeschaltet; man lege eine unmagnetische Nähnadel in die Glasröhre, und entlade die Batterie durch den Hauptbogen. Die Nadel ist danach magnetisch geworden, wovon man sich überzeugt, indem man sie an einem Coconfaden aufhängt und schwingen läſst, oder leichter, indem man die Enden der Nadel einer leicht beweglichen Bussolnadel nähert, und diese abstoſsen läſst. Die Anziehung ist, wie schon früher bemerkt worden, kein sicheres Zeichen. Das Ende der Stahlnadel, das magnetisch *bezeichnet* wird (sich gegen den

Nordpol der Erde richtet) ist nicht durch die Lage in der [835] Glasröhre und die Richtung des Entladungsstromes bestimmt. Um in den einzelnen Versuchen den Sinn der Magnetisirung der Nadel in einem kurzen Ausdrucke angeben zu können, soll die Nadel *normal* oder *positiv* magnetisirt heifsen, wenn, bei Annahme einer gleichen Richtung des Nebenstromes mit dem Hauptstrome, ihre Magnetisirung der elektromagnetischen Regel (§. 502.) entspricht, im entgegengesetzten Falle *anomal* oder *negativ* magnetisirt. Normal magnetisirt ist demnach die Nadel in der Glasröhre, wenn einer mit dem Nebenstrome in der Drathspirale schwimmend gedachten menschlichen Figur, welche die Nadel anblickt, der bezeichnete Pol der Nadel zur Linken liegt. In Fig. 153 ist eine rechtsgewundene Spirale gezeichnet; bei der Richtung des Haupt- und Nebenstromes wird daher die Nadel normal magnetisirt sein, wenn ihr bezeichneter Pol dem Ende *n* der Spirale zunächst liegt. Richtung und Stärke der Magnetisirung durch den Nebenstrom sind veränderlich mit den Bedingungen des Nebenstromes, mit der absoluten Stärke des Stromes, den Dimensionen und der Härte der Nadel und mit der Entfernung der Nadel vom Nebenbogen. Es sind also hier, wie bei der Magnetisirung durch den Hauptstrom (§. 520.), Umstände von Einflufs, die mit der Elektricität Nichts gemein haben, und es mufste ein unfruchtbares Bemühen bleiben, durch magnetisirte Nadeln Aufschlufs über die Eigenschaften des Nebenstromes zu erhalten. Die in dem Folgenden mitgetheilten Versuche sind daher nur als specielle, in Bezug auf die Bedingungen der Magnetisirung des Eisens interessante, Fälle aufzufassen.

836 Magnetisirung nach der Stärke der Ladung der Batterie. Es wurden Haupt- und Nebenbogen aus gutleitenden Dräthen zusammengesetzt und 5 Flaschen der Batterie benutzt, die verschiedene Elektricitätsmengen erhielten. Die folgenden Zahlen geben die Abstofsung einer Bussolnadel durch die im Nebenbogen magnetisirten Nadeln, die 13,9 Linien lang, 0,209 dick waren, und im Handel unter der Bezeichnung Bartleet sharps No. 9 vorkommen.

[836]

Elektricitätsmenge	5	10	20	30
Magnetisirung	+ 0°,7	+ 3	+ 5	+ 3,3

Es erfolgten normale Magnetisirungen, die bis zur Ladung der Batterie mit der Elektricitätsmenge 20 an Stärke zunahmen. Ganz anders war der Erfolg, als ein 38 Zoll langer, $\frac{1}{12}$ Linie dicker Neusilberdrath in den Hauptdrath eingeschaltet war.

Elektricitätsmenge	10	20	30
Magnetisirung	— 9°	— 7,7	— 4,6

Die Magnetisirungen sind anomal und nehmen mit steigender Elektricitätsmenge an Stärke ab. Weitere Beispiele hierzu sind aus der Tafel §. 839 zu entnehmen, in welcher die Leitung im Hauptbogen verschlechtert wurde, und bei steigender Ladung eine Aenderung der Richtung des Magnetismus eintrat. So entsprechen z. B. den Elektricitätsmengen 10 20 30 die Magnetisirungen — 0,8; 0; + 1,3. Es zeigen sich also Perioden der Magnetisirung mit steigender Ladung der Batterie, wie wir solche bei dem Hauptstrome kennen gelernt haben. Die steigenden Ladungen geben vermehrte Elektricitätsmengen zugleich mit vermehrter Dichtigkeit. Aber auch die Aenderung der Dichtigkeit allein ändert die Magnetisirung durch den Nebenstrom. Als 5 und dann 25 Flaschen mit gleicher Elektricitätsmenge geladen wurden, erhielt ich eine stärkere Magnetisirung, wenn die größere Flaschenzahl, also eine geringere Dichtigkeit der Elektricität des Hauptstromes gebraucht wurde.

837 Entfernung des Hauptdrathes vom Nebendrathe. Mit zunehmender Entfernung der Inductionsspiralen von einander nimmt die Stärke des Nebenstromes ab, wovon §. 825 ein Beispiel gegeben worden ist. Bei den dort angewandten ebenen Spiralen von 13 Fuſs Länge, wurden die folgenden Magnetisirungen von Nähnadeln der angegebenen Sorte erhalten durch die Elektricitätsmenge 30, die aus 5 Flaschen entladen wurde.

Entfernung d. Spiralen	1	3	5	15	23	39,5 Lin.
Magnetisirung	+ 3,3	+ 5,7	+ 7,5	+ 4,5	+ 1	— 1,2

Man sieht hier bei abnehmendem Strome die Magnetisirung zuerst zunehmen (bis zur Entfernung der Spiralen von 5 Linien), dann abnehmen, und zuletzt ihre Richtung ändern

und wieder zunehmen. Die Entfernung des Hauptdrathes vom Nebendrathe, bei welcher sich die Richtung des Magnetismus ändert, ist verschieden nach der Form dieser Dräthe, ihrer Länge und der Ladung der Batterie. Henry [1]) legte zwei 12 Fuſs lange Stanniolstreifen parallel neben einander, entlud durch den einen eine leydener Flasche, und verband den anderen mit einer Magnetisirungsspirale, in die eine Nähnadel gelegt wurde. Als die Streifen 0,24 Linie von einander entfernt waren, wurde die Nadel normal magnetisirt, bei 1,5 Lin. Entfernung blieb sie unmagnetisch, bei gröſserer Entfernung wurde sie anomal magnetisirt. Mit geraden Dräthen von 10 Fuſs Länge und mit einer Batterie von 8 Flaschen trat die anomale Magnetisirung der Nadel erst bei einer Entfernung der Dräthe von 10 bis 12 Zoll ein. Als eine Batterie von 32 Flaschen angewendet wurde, und Haupt- und Nebendrath 35 Fuſs maſsen, konnte durch Entfernung der Dräthe von einander keine anomale Magnetisirung erhalten werden. Matteucci [2]) gebrauchte zwei ebene Inductionsspiralen von 70 Fuſs Drathlänge, und lud 3 leydener Flaschen mit steigender Elektricitätsmenge. Bei der schwächsten Ladung war die Magnetisirung durch den Nebenstrom normal gerichtet bis zu einer Entfernung der Spirale von 20, bei der stärksten bis zu einer Entfernung von 60 Millimeter. [837]

Beschaffenheit des Nebenbogens. Aus einem, 0,177 Lin. dicken, 26 Zoll langen, Platindrathe wurde eine cylindrische Spirale gewunden, die eine 3 Zoll lange Glasröhre mit 42 Windungen bedeckte. Eine ähnliche Spirale wurde aus einem 0,29 Lin. dicken Kupferdrathe gebildet. Der Hauptbogen der Batterie bestand aus Kupferdrath und einem $77\frac{1}{2}$ Lin. langen, $\frac{1}{12}$ Lin. dicken Neusilberdrathe [3]). 838

Je nachdem die Platin- oder Kupferspirale in den Nebenbogen eingeschaltet war, erfolgte eine sehr verschiedene Magnetisirung einer darin liegenden Nähnadel. Bei Anwendung der Platinspirale war die Magnetisirung normal und mit steigender Ladung der Batterie an Stärke zunehmend, bei

---

[1]) *Sturgeon annals of electr.** 4. 300.
[2]) *Bibliothèque universelle. Octobre* 1840.* 122.
[3]) Poggendorff Annalen* 47. 62.

[838] Anwendung der Kupferspirale anomal und für Elektricitätsmengen von 5 bis 20 nahe constant. Dieser Erfolg wird allein durch die Aenderung des Nebenbogens bei Einschaltung der an Verzögerungswerth so verschiedenen Spiralen bewirkt, und nicht dadurch, daſs die zu magnetisirende Nadel einmal von Platindrath, dann von Kupfer umgeben war. Als nämlich die Spiralen gleichzeitig im Nebenbogen sich befanden, fand kein Unterschied der Magnetisirung statt, die Nadel mochte in der einen oder anderen Spirale liegen. Einen bedeutenden Einfluſs auf die Magnetisirung hat eine Lücke im Nebenbogen, durch welche der Nebenstrom mit einem Funken übergeht. Die stärksten Magnetisirungen, die nahe zur Sättigung der Nadel gingen, sind in dieser Weise erhalten worden. Folgende Tafel zeigt die Magnetisirungen, wie sie in beiden Spiralen durch verschiedene Ladungen der Batterie, und durch den Nebenstrom, der mit einem Funken überging (durch *F* angedeutet) erhalten wurden. Die Batterie bestand aus 5 Flaschen, jede von 1½ Quadratfuſs Belegung.

Elektricitätsmenge	5	10	20	30	20*F*	30*F*
Magnetisirung, Platinspirale	+ 0°,3	+ 3,2	+ 5,5	+ 6,5	+ 7,0	+ 10
Kupferspirale	− 2°,0	− 2	− 2		+ 4,7	+ 27

839 Beschaffenheit des Hauptbogens. Die interessanteste und zugleich wirksamste Weise, die Richtung der Magnetisirung durch den Nebenstrom zu ändern, besteht darin, daſs man die Leitung im Hauptbogen verschlechtert. Ich theile die Versuche, welche dies zuerst gezeigt haben [1]), vollständig mit. Der Hauptbogen bestand aus dicken Kupferdräthen und den Messingarmen des Henley'schen Ausladers, zwischen welchen die verschiedenen Einschaltungen angebracht wurden. In dem Nebenbogen, der aus Kupferdrath bestand, war die Platinspirale des vorigen Paragraphs und auſserdem eine, frei aufgewundene, 38 Lin. lange, Magnetisirungspirale eingeschaltet, die aus einem 81 Zoll langen, ⅜ Lin. dicken, mit Seide besponnenen Kupferdrathe gebildet war. In die letztere Spirale wurde eine Glasröhre, welche die zu magnetisirende Nähnadel enthielt, deren Dimensionen §. 836 angegeben sind, bis zu einer bestimmten Tiefe geschoben. Bei den Versuchen der

[1]) Poggend. Ann.* 47. 64.

letzten Spalte war der Nebenbogen nicht ganz geschlossen, [839] so dafs der Nebenstrom mit einem Funken überging. Die Batterie bestand aus 5 Flaschen und wurde mit steigenden Elektricitätsmengen geladen. Die erste Spalte nennt das Verbindungsstück der Arme des Ausladers, zeigt also eine zunehmende Verlängerung des Hauptbogens. Der dazu gebrauchte Neusilberdrath war $\frac{1}{12}$ Linie dick. Die magnetischen Abstofsungen wurden an einer zweizölligen Magnetnadel erhalten, indem ihr die zu prüfende Nähnadel horizontal, und 10 Grad gegen die Meridianlinie geneigt, genähert war. Die Entfernung der nächsten Enden der Nähnadel und Bussolnadel, wenn diese im Meridian ruhte, betrug stets genau 4 Linien. Ehe eine Nadel zu dem Versuche gebraucht wurde, mufste Öhr und Spitze eine Anziehung der Bussolnadel bewirken.

Elektricitätsmenge	10	20	30	20 F
Einschaltung im Hauptbogen	Magnetisirung im Nebenbogen			
Kupferblech	+ 0°,3	+ 1,5	+2,5	+ 8,3
Neusilberdrath $26\frac{7}{8}$ Linien	2	4,5	6,5	8
$36\frac{5}{8}$	2	5	6	9,5
78	2,5	5,7	7,7	12,6
$140\frac{3}{4}$	0	1,8	1,6	4,5
212	— 0,8	0	1,3	7,8
324	— 2,3	— 3	0	1,5
460	— 10	— 10	— 9,5	— 7
696	— 4	— 2,3	— 1,3	+8

Die Perioden der Magnetisirung, wie sie durch Steigerung der Ladung der Batterie, durch veränderte Entfernung der Inductionsspiralen, durch verschiedene Lage der zu magnetisirenden Nadel gegen den Schliefsungsbogen erhalten werden, können demnach auch durch successive Verlängerung des Hauptbogens hervorgebracht werden. Die beiden letzten Horizontalreihen sind empirisch bemerkenswerth, weil sie das leichteste Mittel angeben, durch einen elektrischen Strom eine anomale Magnetisirung zu bewirken. Ich habe mich dieses Mittels, der Verlängerung des Hauptbogens der Batterie durch einen Neusilberdrath, auch dann noch mit Erfolg bedient, wenn dickere Nadeln, als die hier gebrauchten, zu magnetisiren waren, die sonst schwer anomal magnetisirt werden konnten.

Drittes Kapitel.

Rückwirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom. Störungen des Nebenstromes.

Rückwirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom.

840 Diese Rückwirkung ist eigenthümlicher und merkwürdiger Art, sie ist dabei so durchgreifend und einflußreich auf alle Versuche mit Nebenströmen, daſs ich den Erfahrungen darüber die Betrachtungen voranschicke, die mich zur Entdeckung jener Erscheinung geführt haben [1]). Der Hauptstrom der Batterie ist abhängig von der bewegten Elektricitätsmenge und ihrer Entladungszeit; eine Aenderung des Stromes kann nur dadurch herbeigeführt werden, daſs eins dieser Elemente oder beide geändert werden. Es ist das Natürlichste, zuerst die Elektricitätsmenge ins Auge zu fassen. Der Hauptdrath erregt unzweifelhaft im Nebendrathe eine Elektricitätsmenge, die vorher nicht da gewesen, und es war zu vermuthen, daſs umgekehrt der Nebendrath im Hauptdrathe eine Elektricitätsmenge erregt, die sich zu der daselbst befindlichen, je nach ihrer Richtung, additiv oder subtractiv hinzufügt. Als an einer Stelle des Hauptbogens die Erwärmung untersucht wurde, und dann an einer anderen Stelle ein Nebendrath angebracht und durch einen kurzen gutleitenden Drath geschlossen war, zeigte sich, bei Wiederholung der Beobachtung, die erste Erwärmung ungeändert. Daſs in dem Nebendrathe ein intensiver Nebenstrom erregt worden, gab der glänzende Funke zu erkennen, der in einer Unterbrechung des Nebendrathes erschien. Es war also, falls auch im Hauptdrathe eine neue Elektricitätsmenge erregt wurde, diese zu gering, um gegen die da-

[1]) Poggendorff Ann.* 49.393.

selbst befindliche, aus der Batterie hinübergeführte, in Betracht [840]
zu kommen. Eine Vermehrung dieser Menge war durch Verstärkung der Batterieladung möglich, die aber ersichtlich zu keinem Erfolge führen konnte. In dem Versuche mufste auch die Entladungszeit des Hauptstromes durch den Nebenstrom nicht merklich geändert worden sein, obgleich eine solche Aenderung denkbar war, da zwei neben einander fliefsende elektrische Ströme anziehend oder abstofsend auf einander wirken (§. 541.). Hier liefs sich, wenn auch eine solche Wirkung stattfand, der mangelnde Erfolg des Versuches erklären. Haupt- und Nebenstrom bestehen aus einer Menge von Partialentladungen, deren Dauer von der Beschaffenheit jeder der beiden Schliefsungen abhängt. War die Dauer der Partialentladung des Nebenstromes viel geringer, als die der Partialentladung des Hauptstromes, so fand jede Hauptpartialentladung den Nebendrath unelektrisch, weil der von der vorangehenden Entladung erregte Partialnebenstrom seinen Kreislauf bereits vollendet hatte. Die Dauer der Partialentladung des Nebenstromes konnte aber durch Verlängerung des Nebenbogens vergröfsert, und es dadurch ermöglicht werden, dafs jede Partialentladung des Hauptstromes einen Strom im Nebendrathe vorfand. Dies Mittel, eine Einwirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom herbeizuführen, hatte einen vollständigen Erfolg.

841 Schwächung des Hauptstromes durch Schliefsung einer Nebenspirale. In den Schliefsungsbogen der Batterie war das elektrische Thermometer und eine kleine Inductionsscheibe (§. 823.) eingeschaltet. Nachdem die Erwärmung bei verschiedenen Ladungen der Batterie beobachtet war, wurde der Inductionsscheibe eine zweite in $2\frac{1}{2}$ Lin. Entfernung gegenübergestellt, und die Enden der letzten (Neben-) Spirale durch einen 0,55 Lin. dicken, 3 Fufs 8 Zoll langen Kupferdrath geschlossen. Statt dieses Drathes wurde später ein 138 Lin. langer, 0,046 Lin. dicker Platindrath, und endlich ein 460 Lin. langer, $\frac{1}{12}$ Lin. dicker Neusilberdrath zur Schliefsung der Nebenspirale benutzt. Es wurden folgende Erwärmungen beobachtet:

[841]

Flaschen-zahl.	Elektricit.-Menge.	Erwärmung im Hauptbogen. ohne Neben-spirale.	Nebenspirale geschlossen durch Kupferdrath	Platindrath	Neusilber-drath
4	8	6,7	7,1	4,7	
	10	10,8	10,4	7,1	4,8
	12	15,5	15,4	8,9	6,4
	14				8,0
5	10	8,8	8,6	5,5	
	12	12,7	12,0	7,7	4,6
	14	16,9	16,0	10,3	6,9
	16				8,7
Einheit der Ladung		0,43	0,42	0,27	0,17
Verhältnifs		100	98	63	40

Es war also der Hauptstrom, der, wenn keine Nebenspirale vorhanden war, $=100$ gesetzt ist, beinah unverändert geblieben, wenn eine Nebenspirale hinzugefügt und durch einen gutleitenden Drath geschlossen war, hingegen bis 63 und 40 geschwächt worden, wenn die Schliefsung der Nebenspirale durch schlechtleitende Dräthe bewirkt wurde. Waren die Enden der Nebenspirale nicht mit einander verbunden, so blieb sie ohne Wirkung und konnte als nicht vorhanden betrachtet werden.

842 Diese Schwächung läfst sich auch, experimentell einfacher, dadurch aufzeigen, dafs der Hauptspirale Metallplatten verschiedenen Stoffes und verschiedener Dicke nahe gestellt werden. In dem Apparate des vorigen Paragraphs wurde die Nebenspirale fortgelassen, und dafür der Hauptspirale eine 0,33 Linie dicke Kupferscheibe, von 6 Zoll 10 Lin. Durchmesser, in 2½ Lin. Entfernung gegenübergestellt; später aber diese Scheibe mit einem einfachen oder doppelten Stanniolblatte, oder einem Blatte unächten Silberpapieres vertauscht, das zwischen 2 ebene Glasscheiben gelegt war. Aus beobachteten Erwärmungen wurden die folgenden Erwärmungen für Einheit der Ladung abgeleitet, die als Maafs des Hauptstromes dienen.

		Verhältn.
Stärke des Hauptstromes bei alleinstehender Hauptspirale	0,43	100
ihr nahegestellt: eine Kupferscheibe	0,41	95
zwei Stanniolblätter 0,0268 Lin. dick	0,32	74
ein Stanniolblatt 0,01	0,22	51
ein Blatt unächten Silberpapieres	0,18	42

[842] Der Hauptstrom war desto schwächer, je schlechter leitend das Metallblatt war, das der Hauptspirale gegenüber stand. Es wirkt also eine zusammenhängende Metallplatte wie eine geschlossene Nebenspirale, woraus zu schliefsen ist, dafs in der Platte ein Nebenstrom erregt wird, dessen Stärke durch Natur und Dicke der Platte ebenso bestimmt wird, wie durch die Beschaffenheit des Schliefsungsdrathes der Nebenspirale.

843 Man kann die Schwächung des Hauptstromes auch ohne Mefswerkzeug sehr auffällig machen, indem man im Hauptbogen einen dünnen Drath anbringt, der durch eine mäfsige Ladung der Batterie zu schmelzen ist. Stellt man der Hauptspirale eine, durch einen schlechtleitenden Drath geschlossene, Nebenspirale gegenüber, so bleibt, auch bei stärkeren Ladungen der Batterie, die Schmelzung aus. Ich brachte im Hauptbogen einen 7 Lin. langen, $\frac{1}{24}$ Lin. dicken Eisendrath an, aufserdem die grofse Inductionsscheibe (§. 823.), der eine gleiche Scheibe als Nebenspirale bis 2 Lin. genähert war. Waren die Enden dieser Nebenspirale durch einen, 8 Fufs 6 Zoll langen, 0,052 Lin. dicken, Platindrath geschlossen, so brachte die Entladung der Elektricitätsmenge 40 aus 4 Flaschen keine sichtbare Aenderung des Eisendrathes hervor; blieben die Enden hingegen frei, oder verband man sie durch einen 6 Zoll langen, dicken Kupferdrath, so zerstörte die frühere Ladung den Drath gänzlich. Eine 9 Zoll lange Wassersäule, statt des dünnen Platindrathes zur Schliefsung der Nebenspirale benutzt, verhinderte die Zerstörung des Eisendrathes nicht.

Am einfachsten giebt sich die Rückwirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom zu erkennen, wenn man auf den Entladungsfunken des Hauptstromes achtet. Wie schon früher angeführt worden (§. 661.), ist der Entladungsfunke glänzend hell und schallend, wenn die Nebenspirale gar nicht oder gut geschlossen ist, und erfährt, in Bezug auf Lichtstärke und Schall, eine auffallende Schwächung, wenn die Nebenspirale durch einen schlechtleitenden Drath geschlossen wird.

844 Maximum der Schwächung des Hauptstromes. In der bisher betrachteten Reihe von Versuchen, durch welche die Rückwirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom im

[844] Allgemeinen gezeigt worden ist, war mit der schlechteren Leitung im Nebenbogen auch der schwächere Hauptstrom verbunden. Doch hat schon ein Versuch gezeigt, daſs dies nicht unbedingt der Fall ist. Die Schlieſsung der Nebenspirale durch einen dünnen Platindrath verhinderte die Verbrennung eines Eisendrathes im Hauptbogen, aber die Schlieſsung durch die viel schlechter leitende Wassersäule verhinderte sie nicht. Denkt man sich den Platindrath allmälig verlängert, bis sein Verzögerungswerth den der Wassersäule erreicht, so leuchtet ein, daſs bei einer bestimmten Drathlänge ein Maximum der Einwirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom stattfinden muſs, so daſs durch Verlängerung des Drathes eine Verstärkung des Stromes eintreten muſs. Dies Maximum der Schwächung des Hauptstromes läſst sich mit verhältniſsmäſsig geringen Drathlängen aufzeigen[1]). Im Hauptbogen der Batterie befand sich hinter dem Thermometer eine kleine Inductionsscheibe, der gegenüber in 1 Linie Entfernung und durch eine Glasscheibe von ihr getrennt, die Nebenspirale stand, deren Enden in lange Kupferdräthe fortsetzten. Diese Dräthe konnten durch Klemmen an verschiedenen Stellen eines 600 Fuſs langen, 0,156 Lin. dicken Neusilberdrathes befestigt werden, von welchem dadurch verschiedene Längen in die Schlieſsung der Nebenspirale eingeschaltet wurden. Die folgende Tafel giebt die Verhältnisse der Erwärmungen für Einheit der Ladung, die aus 6 im Hauptbogen beobachteten Erwärmungen abgeleitet wurden.

Länge d. Drathes im Nebenbogen.	Erwärmung im Hauptbogen.	Länge d. Drathes im Nebenbogen.	Erwärmung im Hauptbogen.
0 Fuſs	100	88,7 Fuſs	61
2,4	81	138	66
4,8	70	187,3	71
9,8	55	236,6	73
19,7	52	285,9	76
29,6	48	384,5	81
39,4	52	483	84
59,2	54	581,7	87
		Nebenspirale offen	100

[1]) Poggend. Ann.* 51. 177.

Durch Einschaltung verschiedener Längen Neusilberdrathes in [844] den Nebenbogen nahm die Erwärmung im Hauptbogen fortwährend ab, bis dieser Drath 30 Fuſs erreicht hatte. Hier war die Erwärmung, die bei Schlieſsung der Nebenspirale durch Kupferdrath 100 betragen hatte, auf 48 gesunken. Bei gröſserer Länge des schlieſsenden Drathes stieg aber die Erwärmung wiederum, und erreichte bei 582 Fuſs den Werth 87; der Werth 100 trat ein, als die Nebenspirale ungeschlossen blieb. Es folgt hieraus: ein neben dem Schlieſsungsbogen der Batterie befindlicher metallisch geschlossener Drath wirkt, nach Maaſsgabe seiner Schlieſsung, auf den Hauptstrom schwächend; wird die Schlieſsung des Nebendrathes allmälig verlängert, so nimmt die Einwirkung dieses Drathes zu, erreicht ein Maximum, und nimmt dann wieder ab.

845 Es war zu vermuthen, daſs die Verlängerung des Neusilberdrathes allein dadurch wirke, daſs sie den Verzögerungswerth des Nebenbogens ändert, und daher jede Länge dieses Drathes durch eine leicht zu bestimmende Länge eines Drathes aus anderem Metalle ersetzt werden könne. Dies wurde durch den folgenden Versuch bestätigt. Der Hauptstrom war durch Einschaltung eines 26 Fuſs langen Stückes von dem oben beschriebenen Neusilberdrathe von 100 bis 35 geschwächt worden. Es sollte der eingeschaltete Drath durch Platindrath vom Radius 0,0238 ersetzt werden. Die Verzögerungskraft des Neusilbers wurde gegen Platin auf 1,779 bestimmt. Dem gebrauchten Neusilberdrathe muſsten λ Fuſs des Platindrathes entsprechen, wenn man $\frac{\lambda}{(0{,}0238)^2} = \frac{26 \,.\, 1{,}779}{(0{,}0779)^2}$ setzt. Hiernach ist $\lambda = 4{,}3$ Fuſs. Als die Nebenspirale durch 4 Fuſs 5 Zoll Platindrath geschlossen war, wurde der Hauptstrom 36 gefunden, also dem früher bestimmten nahe gleich.

846 Die Schwächung des Hauptstromes ist, wie wir §. 841 gesehen haben, unabhängig von der, durch die Ladung der Batterie bestimmten, Stärke des Stromes. Groſsen Einfluſs auf diese Schwächung hat aber die Zusammensetzung des Hauptbogens, von welcher die Stärke des Stromes gleichfalls abhängt. In den §. 844 gebrauchten Hauptbogen wurde ein 7 Zoll 5 Lin. langer Platindrath von 0,023 Lin. Radius ein-

[846] geschaltet, und hierdurch der Hauptstrom bei Einheit der Ladung von 0,31 auf 0,153 gebracht. Dieser Strom erhielt durch Schliefsung einer Nebenspirale mit verschiedenen Längen des früher gebrauchten Neusilberdrathes die folgenden Werthe, bei welchen der gröfste Werth $= 100$ gesetzt worden.

Schliefsung d. Nebenspir. durch d. Länge	0	29,6	49,3	69	263,6	571,9 Fufs
Stärke des Hauptstromes	100	82	78	78	91	99

In der früheren Versuchsreihe mit dem stärkeren Strome wurde dieser am meisten geschwächt durch Schliefsung der Nebenspirale mit 29,6 Fufs Drath, nämlich im Verhältnisse 100 zu 48, während hier der anfängliche Strom durch 69 Fufs Drath nur von 100 auf 78 gebracht wurde. Auch war früher bei Schliefsung mit der gröfsten vorhandenen Drathlänge erst der Werth 87 erreicht, hier aber damit schon die anfängliche Stromstärke wiederhergestellt. Durch Veränderung des Hauptbogens wird daher nicht nur der relative Werth des Hauptstromes bei dem Maximum der Einwirkung des Nebenstromes verändert, sondern auch der Gang dieser Einwirkung bei gradueller Verlängerung der Nebenschliefsung.

847 Läfst man von einem constanten Hauptbogen in einzelnen Versuchen ein verschieden langes Stück auf Nebendräthe wirken, so ist das zu erreichende Maximum der Schwächung des Hauptstromes desto gröfser, je länger das wirkende Stück des Hauptbogens ist, zugleich aber wird der Gang der Schwächung bei gesteigerter Länge der Nebenschliefsung wesentlich geändert. In den Hauptbogen waren eine kleine und eine grofse Inductionsscheibe hinter einander eingeschaltet, welchen in 2 Lin. Entfernung die dazugehörigen Nebenspiralen gegenübergestellt waren. Der Hauptstrom wurde zuerst gemessen bei Schliefsung der kleinen Nebenspirale durch Kupfer- oder Neusilberdrath, dann bei Schliefsung der grofsen Nebenspirale durch dieselben Dräthe. Endlich wurden zwei Enden der Nebenspiralen in eben dem Sinne mit einander verbunden, in welchem ihre Hauptspiralen es waren (Rand der kleinen mit der Mitte der grofsen Spirale) und die freien Enden der Spiralen durch die früher gebrauchten Dräthe geschlossen. Die folgende Tafel zeigt die Verhältnisse des Hauptstromes unter diesen Bedingungen.

[847]

Schliefsung d. Nebenspirale durch Neusilber von d. Länge	Stärke d. Hauptstromes bei Schliefsung d. kleinen Spir.	d. grofs. Spir.	beider Spiralen.
0	100	100	100
9,9 Fufs	86	57	50
19,7	81	42	36
29,6	76 m.	31	
39,4	81		24
59,2	88	28	
78,9		25 m.	24
98,6	90		21
118,3		26	
138			20 m.
187,3	99	28	22
285,9	99	31	26
384,5		36	30
483		40	
571,9	100	44	38

848 Bei Schliefsung der verschiedenen Nebenleitungen durch Kupferdrath hatte demnach der Hauptstrom denselben Werth, sank aber bei Einschaltung von immer längeren Neusilberdräthen desto schneller, je länger der auf die Nebenleitung wirkende Theil des Hauptbogens war, und zugleich mufsten die Längen des eingeschalteten Drathes desto gröfser sein, um das Maximum der Schwächung (in der Tafel durch m angedeutet) zu geben. Die Anwendung der kleinen Nebenspirale, wobei 13 Fufs des Hauptdrathes auf einen Nebendrath wirkten, gab das Maximum der Schwächung des Hauptstromes mit der Drathlänge 30 Fufs. Hier war der Strom bis 76 gesunken, nahm mit gröfseren Längen des schliefsenden Drathes zu, und erreichte fast seinen anfänglichen Werth schon bei 286 Fufs. Die grofse Nebenspirale, die mit 53 Fufs Drath wirkte, gab ein gröfseres Maximum der Schwächung, nämlich den Werth des Stromes 25, der durch Schliefsung jener Spirale mit 79 Fufs Drath eintrat, dagegen ein langsameres Steigen des Stromes, der bei 572 Fufs nur den Werth 44 erreichte. Als endlich beide Spiralen mit einander verbunden, also 66 Fufs des Hauptdrathes zur Wirkung gebracht waren, trat das Maximum bei der Schliefsung mit 138 Fufs ein, wobei der Werth des Stromes 20 betrug, und darauf so langsam stieg, dafs er bei 572 Fufs Schliefsung erst wieder 38 betrug. Waren die Nebenleitungen nicht geschlossen, so blieben sie überall ohne Wirkung.

849 Damit die vereinigten Nebenspiralen eine gröfsere Wirkung ausübten, als jede für sich, war die Bedingung gestellt, dafs sie in eben dem Sinne, wie die zu ihnen gehörigen Hauptspiralen, mit einander verbunden wurden. Erfüllt man diese Bedingung nicht, verbindet also an den Hauptspiralen Rand und Mitte, an den Nebenspiralen Rand und Rand, so mufs die Wirkung der vereinigten Spiralen geringer sein, als die der grofsen Spirale allein. Der Grund hiervon wird durch Untersuchung des Nebenstromes klar. Bei übereinstimmender Verbindung der beiden Haupt- und Nebenspiralen findet man den Nebenstrom gröfser, als bei Anwendung der grofsen Nebenspirale allein, bei widersprechender Verbindung aber kleiner. Im ersten Falle wird zum Nebenstrome der grofsen Spirale der der kleinen hinzugefügt, im zweiten von jenem abgezogen. Die Richtung des Nebenstromes wird nämlich durch die des Hauptstromes bestimmt, und ein Anblick des Apparates lehrt, dafs bei übereinstimmender Verbindung der Spiralen die beiden, von der kleinen und grofsen Spirale erregten, Nebenströme in gleicher Richtung durch den Nebenbogen fliefsen, bei widersprechender Verbindung in entgegengesetzter Richtung.

850 Aus den bisherigen Erfahrungen folgt, dafs zur möglichst grofsen Schwächung des Hauptstromes durch den Nebenstrom die Erregung des Nebenstromes möglichst stark sein, und die Hauptspirale einen grofsen Theil des Hauptbogens ausmachen müsse. Im Hauptbogen befand sich aber bisher der Drath des Luftthermometers, der nicht kürzer und dicker genommen werden durfte, ohne die Empfindlichkeit des Instrumentes zu schwächen. Ich gebrauchte deshalb das Metallthermometer (§. 419.), dessen Platindrath, $61\frac{1}{2}$ Lin. lang, Radius 0,04, neben einer grofsen Inductionsscheibe in den Hauptbogen eingeschaltet wurde. Die Nebenspirale war in 2 Lin. Entfernung gestellt, und wurde durch Kupferdrath und verschiedene Längen des Neusilberdrathes geschlossen. Bei der schnellen Bewegung des Thermometerzeigers und der Kleinheit der Kreistheilung konnten nur ganze Grade abgelesen werden; die folgenden Erwärmungen sind Mittel aus zwei Beobachtungen.

		Schliefsung d. Nebenspirale durch Neusilberdrath der Länge [850]								
		0	4',8	9,9	19,7	29,6	49,3	285,9	384,4	571,9
Flaschenzahl.	Elektricitätsmenge.	Erwärmung im Hauptbogen.								
4	12	20°	11	7	4	3	3	3,3	4,5	6
	14	28	15	9	6	4,5	4	4,5	6	8
	16	37	20	11	8	6	5	6	7,5	10
5	14	22	12	7	4	3,5	3	3,5	5	7
	16	30	16	9	6	5	4	5	6	8
	18	38	21	12	8	6	5	6	8	10,5
Einheit der Ladung		0,57	0,31	0,18	0,12	0,09	0,078	0,09	0,12	0,16
Hauptstrom. Verhältnifs		100	54	32	21	16	14	16	21	28

In dieser Versuchsreihe war der Schliefsungsbogen besser leitend, als früher; statt des sonst vorhandenen Platindrathes im Luftthermometer (von 143$\frac{1}{3}$ Lin. Länge), war hier ein fast gleich dicker Platindrath von 61$\frac{1}{2}$ Lin. Länge vorhanden, zugleich wirkten 53 Fufs des Hauptbogens auf den Nebenbogen ein. In Folge hiervon waren alle Einschaltungen des Neusilberdrathes von starker Wirkung, und der Hauptstrom wurde im Verhältnifs 100 zu 14 und noch stärker geschwächt. Bei Einschaltung von 200 Fufs Drath wurde nämlich eine kleinere Erwärmung als 0,078 bemerkt, die aber nicht mehr mit Sicherheit zu bestimmen war. Mit dem schnellsten Sinken des Hauptstromes und seiner gröfsten Schwächung ist zugleich das langsamste Steigen verbunden, das überhaupt beobachtet wurde. Bei der längsten Schliefsung der Nebenspirale betrug der Hauptstrom erst 28. Wie beiläufig bemerkt werden kann, wurde ein fast gleicher Werth des Hauptstromes gefunden, als die Nebenspirale entfernt, und an ihrer Stelle ein Blatt unächten Silberpapieres der Hauptspirale gegenübergestellt worden war.

Mechanismus der Rückwirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom. Die aufgeführten Erscheinungen lassen sich durch folgende Vorstellung erklären. Eine jede der durch den Hauptbogen der Batterie gehenden Partialentladungen erregt in dem Nebendrathe einen Strom, der, je nach der Leitung, die er zu durchlaufen hat, in kürzerer oder längerer Zeit verschwindet. Ist die Leitung im Neben- [851]

[851] bogen verhältnifsmäfsig gut, so wird in dem Augenblicke, wo die zweite Partialentladung im Hauptdrathe stattfindet, im Nebendrathe der Strom schon verschwunden sein, der von der ersten Partialentladung erregt war; die zweite Partialentladung findet den Nebendrath in eben dem neutralen Zustande, wie die erste, und wird keine Einwirkung von ihm erfahren. Verlängert man aber den Nebenbogen, so wird in ihm der Nebenstrom eine längere Zeit bestehen; er wird noch nicht erloschen sein, während die zweite Partialentladung in den Hauptdrath eintritt, welche nun durch diese, neben ihr in Bewegung gesetzte, Elektricitätsmenge eine Verzögerung erleidet. Ob der Nebenstrom unmittelbar oder mittelbar auf den Hauptstrom wirkt, ist hier gleichgültig und wird an einer späteren Stelle (§. 905.) betrachtet werden. Je weiter die erste Partialentladung des Nebenstromes in die zweite Partialentladung des Hauptstromes eingreift, desto stärker mufs ihre Wirkung sein; wir sehen daher die Verzögerung des Hauptstromes zuerst mit der Verlängerung des Nebenbogens zunehmen. Diese Verlängerung, die der Stärke der betrachteten Erscheinung günstig ist, hat aber zugleich einen entgegengesetzten Einflufs dadurch, dafs sie den Nebenstrom selbst schwächt (§. 828.). Ein schwacher Nebenstrom wirkt nicht so stark auf den Hauptstrom ein, als ein stärkerer. Indem wir also die Nebenspirale durch immer gröfsere Drathlängen schliefsen, üben wir zwei entgegengesetzte Effecte auf die Partialentladung des Hauptstromes aus, wir setzen ihr ein Hindernifs während einer immer längeren Zeit ihres Bestehens entgegen, aber wir machen auch dies Hindernifs immer schwächer. Zu Anfange der Versuchsreihe, bei welchem das Eingreifen des Nebenstromes in den Hauptstrom nur während einer kurzen Zeit stattfindet, wird nur die erste Einwirkung merklich; von einer gewissen Dauer des Nebenstromes an erhält das längere Bestehen des Nebenstromes weniger Einflufs, als die damit verbundene Schwächung des Stromes. Dies ist der Punkt, an welchem die gröfste Verzögerung des Hauptstromes bemerkt wird. Die beiden Minima der Verzögerung treten ein, wenn die Partialentladung des Hauptstromes keinen Strom im Nebenbogen findet, bei vollkommener Schliefsung,

und wenn der vorgefundene Strom so schwach geworden ist, [851] dafs er keine Wirkung ausübt, bei sehr langer Schliefsung der Nebenspirale. —

Der Vorgang bei den zwei ersten Partialentladungen des Hauptstromes findet bei den folgenden in erhöhtem Maafse statt. Da die zweite Partialentladung gegen die erste verzögert worden ist durch Einflufs des ersten Nebenstromes, so wird der zweite Nebenstrom länger dauern als der erste, in die dritte Partialentladung weiter eingreifen, und diese noch bedeutender verzögern können. Dasselbe findet auch weiterhin statt, und jede Partialentladung des Hauptstromes wird, durch Einflufs des Nebenstromes, gegen die unmittelbar vorhergehende verzögert sein.

Abhängigkeit des Hauptstromes von der Form seines Bogens.

852 Bei den Prüfungen der Stärke des Hauptstromes ist bisher auf die Form des Bogens, den er durchläuft, keine Rücksicht genommen worden, weil bei der gewöhnlichen Anordnung der Versuche kein Unterschied der Wirkungen des Stromes zu erhalten ist, man möge die Verbindung der Belegungen der Batterie durch einen ausgebreiteten Drath vollziehen, oder, wie zur Raumersparnifs geschieht, ein Stück davon zu einer ebenen oder cylindrischen Spirale aufgewunden haben. In der That findet aber ein solcher Unterschied statt, der, in den gewöhnlichen Fällen äufserst gering, durch eine eigens dazu getroffene Einrichtung des Schliefsungsbogens merklich gemacht werden kann. Eine solche, absichtlich complicirte, Einrichtung des Bogens haben wir bereits §. 537 angewendet gesehen, wo durch veränderte Form des Bogens eine verschiedene Magnetisirung von Stahlnadeln bewirkt wurde, aus welcher jedoch nicht auf veränderte Stärke des Hauptstromes geschlossen werden durfte, da auch die Vertauschung eines Drathes im Bogen mit einem gleichwerthigen Drathe die Magnetisirung, aber nicht die Erwärmung, ändert (§. 540.). Die Abhängigkeit des Hauptstromes von der Form seines Bogens beruht auf der Rückwirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom, und

[852] giebt nicht allein ein merkwürdiges Corollar zu den bereits aufgeführten Erfahrungen, sondern erweitert diese auch in einem wesentlichen Punkte.

853 Induction des Hauptstromes auf sich selbst. Der Hauptstrom erregt in der Masse des Hauptbogens selbst einen Nebenstrom, so daſs jedes Stück des Bogens zwei Ströme leitet, den Hauptstrom und den von ihm erregten Nebenstrom. Durch thermometrische Beobachtungen wird dieser Nebenstrom indirect aufgezeigt in den Störungen, welche die Gesetze der Stromtheilung durch ihn erleiden (§. 488.). Leichter wird er durch seine physiologische Wirkung erkannt. Dove [1]) schloſs eine Batterie durch einen Drath, der in der Mitte zu einer cylindrischen Spirale aufgewunden war, und brachte an verschiedenen Stellen des Bogens Ableitungen an, die durch den Körper des Beobachters geschlossen wurden. In Fig. 154 und 155 bezeichnet *ab* die cylindrische Spirale, die aus einem in 80 Windungen gelegten, 32 Fuſs langen Kupferdrath bestand, *ch* und *dh* die Ableitungen, die in Griffen endigten, welche mit den beiden Händen gefaſst wurden. Umschlossen die Ableitungen die Spirale (Fig. 154.), so erhielt der Beobachter bei Entladung der Batterie einen Schlag, nicht aber, wenn die Nebenschlieſsung, wie in Fig. 155, auſserhalb des spiralförmigen Theiles des Hauptbogens angebracht war. In beiden Fällen hatte der Hauptbogen zwei Zweige, den ganz metallischen Zweig *cd*, und den durch den menschlichen Körper unterbrochenen *chd*. Nun hat zwar der metallische Zweig *cabd* im ersten Versuche einen gröſseren Verzögerungswerth, als im zweiten, dieser Werth blieb aber in beiden Fällen auſserordentlich klein im Verhältnisse zu dem Zweige, in den der Körper des Beobachters einging. Es kann daher durch Theilung des Hauptstromes keine merkliche Verschiedenheit des Stromes im zweiten Zweige herbeigeführt werden, und der empfundene Schlag kann allein von dem, in den Windungen der Spirale erregten, Nebenstrome bewirkt werden.

854 Jede Windung der Spirale erregt in der ihr nächsten Windung einen Nebenstrom von einer bestimmten Richtung,

[1]) Poggend. Annal.* 54. 322.

die später betrachtet werden soll. Es fliefst also, durch Induction der Spirale auf sich selbst, in der ganzen Spirale neben dem Hauptstrome ein Nebenstrom, der nothwendig auf jenen wirken mufs. Der Nebenstrom in dem Versuche des vorigen Paragraphs konnte in sich zurücklaufen, indem der Körper des Beobachters den Kreis schlofs. Läfst man die Ableitungen fort, so kann der in der Spirale erregte Nebenstrom nicht in sich zurücklaufen, sondern wird in die Belegungen der Batterie strömen. Hierdurch ist er nothwendig sehr schwach geworden, und kann daher nur eine geringe Wirkung auf den Hauptstrom ausüben, die bei sehr ausgedehnten Spiralen oder bei einer eigenthümlichen Einrichtung des Schliefsungsbogens sichtbar wird. Ehe ich zu diesen Versuchen schreite, will ich die Formen des Schliefsungsbogens, die hinsichtlich der Aenderung des Hauptstromes wesentlich von einander unterschieden sind, angeben und mit kurzen Ausdrücken bezeichnen. [854]

855 Der Schliefsungsbogen sei so ausgebreitet, dafs seine einzelnen Theile zu entfernt von einander bleiben, um auf einander wirken zu können. Diese soll die *gerade Form* des Bogens heifsen, bei der es nicht nöthig ist, dafs der Schliefsungsdrath in gerader Linie ausgespannt werde. Es genügt, dafs der Drath in einem weiten Zickzack auf Seidenschnüren ausgebreitet wird. Sind es zwei bestimmte Theile des Bogens, deren Wirkung auf einander beobachtet wird, so deutet gerade Form nur an, dafs diese Theile aufser Wirkungsnähe gebracht worden sind.

Zwei parallele Theile des Bogens sind einander genähert und so verbunden, dafs der Strom beide Theile in derselben Richtung durchläuft. Diese Form des Bogens soll N*form* heifsen, weil die Bedingung erfüllt ist, wenn ein Stück des Bogens den Buchstaben N bildet, wie Fig. 156 zeigt, in welcher der punktirte Verbindungsdrath aufserhalb der Ebene der Schenkel des Buchstaben liegt. Man überzeugt sich leicht, dafs jede ebene Spirale, und jede cylindrische Spirale, deren Ganghöhe kleiner ist als der Durchmesser, die Bedingung dieser Form erfüllt.

Zwei einander genäherte parallele Theile des Bogens sind so mit einander verbunden, dafs der Strom beide Theile in

[855] entgegengesetzter Richtung durchläuft. Wir wollen diese Form U*form* nennen. Sie wird durch Fig. 157 erläutert.

856 Aenderung des Hauptstromes durch die Form seines Bogens. Zwei grofse Inductionsscheiben (§. 823.) wurden hinter einander in den Schliefsungsbogen der Batterie eingeschaltet, und 9 Zoll von einander entfernt. Die Spiralen waren so mit einander verbunden, dafs der Strom bei beiden in der Mitte eintrat, wie Fig. 158 zeigt. Der Strom hatte in beiden Spiralen also dieselbe Richtung, von der Mitte zum Rande der Spiralen, so dafs wir dies N verbindung nennen können. Nachdem das Thermometer im Hauptbogen, das in der Figur durch einen Kreis bezeichnet ist, beobachtet worden, wurden die Scheiben einander in 1 Linie Entfernung gegenübergestellt, und eine neue Beobachtungsreihe angestellt. Hierauf wurde die Verbindung der Spiralen geändert, so dafs der Strom in die Mitte der ersten und in den Rand der zweiten Spirale eintrat, in beiden Spiralen also eine entgegengesetzte Richtung hatte (U verbindung). In den drei folgenden Beobachtungsreihen war also der Schliefsungsbogen der Batterie seiner Beschaffenheit nach unverändert, hatte aber durch Stellung und Verbindung der Spiralen die gerade, die N- und die U-Form.

Flaschenzahl.	Elektricitätsmenge.	Erwärmung im Schliefsungsbogen. Spiralen von einander entfernt.	einander genähert N verbindung.	U verbindung.
3	6	13,5	11,9	14,1
	8	22,2	20	23,3
	10	34,9	31,5	36,5
4	6	10,5	9,2	11,2
	8	17,5	15,6	18,9
	10	27	24	28
5	6	8,5	7,8	9,2
	8	14,7	13	15,8
	10	21,8	19	23,7
Einheit der Ladung		1,11	0,98	1,17

857 Die Form des Schliefsungsbogens ändert, wie man sieht, den Entladungsstrom in ganz bestimmter Weise; der Strom ist bei N form des Bogens schwächer, bei U form stärker, als bei der geraden Form. Bei Wiederholung dieser Versuche wurde der Drath, der die Spiralen mit einander verband, geändert, ohne dafs dadurch die Erscheinung eine Aenderung erlitt. Es fand sich nämlich

[857]

	Verbindungsdrath d. Spirale.		Verhältnifs der Stromstärke bei		
	Länge.	Dicke.	gerader Form.	Nform.	Uform.
Kupfer	29 Zoll	$\frac{3}{8}$ Lin.	100	89	106
Neusilber	$39\frac{1}{2}$	$\frac{1}{8}$	100	91	106
Stahl	$34\frac{1}{3}$	$\frac{7}{24}$	100	88	109

Es folgt hieraus der merkwürdige Satz: *die Annäherung zweier parallelen Stücke des Hauptbogens an einander verändert den Hauptstrom, der geschwächt wird, wenn er beide Stücke in gleicher, und verstärkt, wenn er sie in entgegengesetzter Richtung durchläuft.*

858 Die Aenderung des Hauptstromes wird durch den Nebenstrom bewirkt, der bei Annäherung zweier Theile des Hauptbogens an einander erregt wird (§. 854.). Wie aber früher die Wirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom nur in einer Schwächung hervortrat (§. 841.), so haben wir hier auch den entgegengesetzten Erfolg einer Stärkung. Die Bedingung, unter welcher die eine und die andere Aenderung eintritt, ist aus Betrachtung der beiden entscheidenden Formen des Schliefsungsbogens abzuleiten. Jeder Schenkel des in N oder U form gelegten Schliefsungsbogens erregt in dem ihm parallelen Schenkel einen Nebenstrom von derselben bestimmten Richtung. Die Wirkung des Nebenstromes in dem einen Schenkel auf den Hauptstrom in dem anderen, kann nicht den bemerkten Unterschied der Aenderung des Hauptstromes bewirken, da diese Wirkung ersichtlich bei beiden Formen dieselbe sein mufs. Indem aber der erregte Nebenstrom sich weiter verbreitet, mufs er mit dem Hauptstrome zusammentreffen, und zwar in der Art, dafs, wenn bei der einen Form des Bogens der Nebenstrom dem Hauptstrome mit gleicher Richtung begegnet, er ihn bei der anderen Form mit entgegengesetzter Richtung trifft. Von diesen beiden Fällen hängt die Art der Aenderung des Hauptstromes ab. Welche Richtung des Nebenstromes die Verstärkung, und welche die Schwächung hervorbringt, soll, des Zusammenhanges wegen, erst weiter unten (§. 905.) erörtert werden.

Störungen des Nebenstromes.

859 Die erste dieser Störungen, die wir betrachten, ist nur uneigentlich als Störung aufzufassen, da sie nicht willkürlich hervorgerufen werden kann, sondern bei jedem Nebenstrome auftritt. Es ist schon oben (§. 827.) darauf gedeutet worden, daſs die Gesetze des Nebenstromes nur dann in aller Strenge zur Geltung kommen können, wenn der Hauptstrom den Gesetzen folgt, die an ihm erkannt worden sind, daſs diese Bedingung aber nicht erfüllt wird, wenn ein Nebenstrom vorhanden ist. Wir haben es also hier wieder mit der Rückwirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom zu thun, durch die der Nebenstrom eine Aenderung erleidet. Es tritt dies am deutlichsten in der folgenden Untersuchung hervor.

860 Gesammtwirkung zweier in einem Drathe vereinigten Nebenströme. In den Schlieſsungsbogen der Batterie waren 2 groſse Inductionsscheiben S und $S_{\prime}$ eingeschaltet (Fig. 159.). Der Deutlichkeit wegen sind die Spiralen hier und in der Folge als gerade Linien gezeichnet, und ist den Hauptspiralen die Pfeilform gegeben worden, welche die Richtung des Entladungsstromes anzeigt. Die Spitze des Pfeiles ist daher bei einer, mit positiver Elektricität geladenen, Batterie der äuſseren Belegung zugewendet. Zwei groſse Nebenspiralen s und $s_{\prime}$ wurden durch Dräthe und das Thermometer zu einem Kreise verbunden. Ich stellte zuerst, wie Fig. 159 zeigt, die Nebenspirale s ihrer Hauptspirale S nahe (in 2 Lin. Entfernung), während die zweite Nebenspirale $s_{\prime}$ von ihrer Hauptspirale entfernt blieb. In einer folgenden Anordnung wurden $s_{\prime}$ und $S_{\prime}$ einander nahe gestellt, und s von S entfernt, zuletzt endlich beide Nebenspiralen zur Wirkung gebracht, wie in Fig. 160 ersichtlich ist. Die folgende Tafel giebt die Erwärmungen des Thermometers bei diesen verschiedenen Stellungen der Spiralen.

Flaschenzahl.	Elektricitätsmenge.	Erwärmung im Nebenbogen bei Wirkung d. ersten Spir.	d. zweiten Spir.	beider Spiralen.
3	8	10,8	10,1	18,2
	10	16	15	27,3
	12	21,2	21,5	38,3
4	8	7,7	7,7	13,8
	10	11,4	11,8	21,0
	12	16,2	16,5	30,5
Einheit der Ladung		0,47	0,46	0,84

861 Die beiden ersten Beobachtungsreihen rühren von der einzelnen Wirkung zweier Längen des Schliefsungsbogens der Batterie her, die in der dritten Reihe zusammenwirken. Der Werth des Nebenstromes ist in der dritten Reihe merklich kleiner, als die Summe der Werthe der beiden ersten Reihen. Dies würde auch der Fall sein, wenn die beiden Stücke des Hauptdrathes, die auf den Nebenbogen wirken, dicht neben einander lägen. Man kann sich daher jede Länge des Hauptbogens, die einen Nebenstrom erregt, in zwei Stücke getheilt denken, und wird die Wirkung der ganzen Länge geringer finden, als die Summe der Wirkungen der beiden Stücke. Daraus folgt, dafs die Stärke des Nebenstromes in einem geringeren Verhältnisse zunimmt, als die Länge des wirkenden Hauptdrathes. Eine nähere Bestimmung dieses Verhältnisses ist nicht zu geben, weil die Rückwirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom abhängt von der Beschaffenheit des Nebenbogens in Bezug zu der des Hauptbogens. Es ist für sich klar, dafs die im Nebendrathe erregte Elektricitätsmenge proportional der Länge des wirkenden Hauptdrathes sein müsse, und die Dichtigkeit dieser Menge unabhängig von jener Länge. Würden also nur Menge und Dichtigkeit die Stärke des Nebenstromes bestimmen, so müfste, weil Haupt- und Nebenbogen unverändert bleiben, der Nebenstrom nach der Formel $\Theta = \dot{a}qy$ proportional der Länge des wirkenden Hauptdrathes sein. Daraus, dafs dies nicht der Fall ist, läfst sich entnehmen, dafs die Stärke des Nebenstromes von der Entladungszeit des Hauptstromes abhängt, die eben durch Rückwirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom verändert worden. Dies läfst sich durch den Versuch in schlagender Weise zeigen.

862 Störung des Nebenstromes durch Rückwirkung des Nebendrathes auf den Hauptdrath. Wie in §. 860, waren zwei Hauptspiralen im Schliefsungsbogen angebracht, welchen ihre Nebenspiralen in 2 Lin. Entfernung gegenüberstanden. Nach den früheren Versuchen (§. 841.) würde der Hauptstrom denselben Werth besitzen bei ungeschlossenen Nebenspiralen, und bei ihrer Schliefsung durch kurze Kupferdräthe. Schliefst man hingegen eine der beiden Nebenspiralen durch zunehmende Längen eines schlecht leiten-

[862] den Drathes, so nimmt der Hauptstrom ab, erreicht einen kleinsten Werth, und nimmt wieder zu. Es wurde nun versucht, den Hauptstrom unter diesen Bedingungen einen neuen Nebenstrom erregen zu lassen. Die erste Nebenspirale (Fig. 161) wurde durch kurze Kupferdräthe und den Platindrath des Thermometers geschlossen, die Enden der zweiten Nebenspirale durch einen Kupferdrath (0,31 Lin. Radius), oder durch verschiedene Längen eines Platindrathes von 0,028 Lin. Radius mit einander verbunden. Die folgende Tafel giebt die Stärke des Nebenstromes der ersten Spirale, für jede Einschaltung in die Schliefsung der zweiten Spirale, aus 3 Thermometerbeobachtungen berechnet. Die Stromstärke, während die zweite Spirale ungeschlossen blieb, ist 0,51 gefunden, und hier 100 gesetzt worden.

	Kupfer.	Platin.				
Schliefsung d. zweiten Spirale	16 Zoll	1,98 Fufs	5',95	17,9	37,6	97,2
Nebenstrom d. ersten Spirale	100	75	53	35	37	51

Bei Schliefsung der zweiten Nebenspirale durch den kurzen Kupferdrath, ist der Nebenstrom der ersten Spirale ebenso stark, als ob die Schliefsung nicht vorhanden wäre, bei allmälig zunehmendem Verzögerungswerthe der Schliefsung nimmt der Strom zuerst ab, und später wieder zu, so dafs z. B. nahe dieselbe Stromstärke erhalten wurde, wenn die Nebenspirale durch 6 oder durch 97 Fufs des dünnen Platindrathes geschlossen war. Der Nebenstrom befolgt also bei Schliefsung einer zweiten Nebenspirale durch steigende Längen eines Drathes denselben Gang, der unter diesen Bedingungen an dem Hauptstrome erkannt worden ist. (§. 844.).

863 **Störung des Nebenstromes durch unmittelbare Wirkung eines zweiten Nebenstromes.** In dem Vorhergehenden ist die durch den Hauptstrom vermittelte Störung des Nebenstromes durch einen, in beliebiger Entfernung davon erregten, Nebenstrom aufgezeigt worden. Man kann aber auch unmittelbar einen Nebenstrom durch einen zweiten ändern, indem man von demselben Stücke des Hauptbogens gleichzeitig zwei Nebenströme erregen läfst. Diese Störung wurde zuerst aufgefunden bei Zwischenstellung einer Metallplatte zwischen Haupt- und Nebenspirale, und erhielt den Namen: Schirmung

des Nebenstromes, weil man glaubte, dafs die Platte die Induction aufhalte, wie ein Schirm das Licht; eine Vorstellung, die hier eben so wenig pafst, wie bei dem ähnlichen Falle der Schwächung der Influenz (§. 307.) durch eine Metallplatte. Wenn ein Nebenstrom durch einen anderen, ihm nahe liegenden, Nebenstrom verändert wird, so ist dies stets der Wirkung der beiden Ströme auf einander und auf den Hauptstrom zuzuschreiben, der störende Nebenstrom mag nun zwischen dem untersuchten Nebenstrome und dem Hauptstrome, oder an einer anderen Stelle liegen. [863]

864 Ich legte drei 0,55 Linie dicke Kupferdräthe *A*, *B*, *C* (Fig. 162.) in einer Länge von 10 Fufs 6 Zoll parallel neben einander, so dafs *A* und *B* nahe $4\frac{1}{2}$, *B* und *C* $2\frac{1}{3}$ Lin. von einander entfernt blieben, und entlud durch einen dieser Dräthe die Batterie, während ein zweiter Drath durch das Thermometer geschlossen war. Zur Verbindung der geraden Dräthe mit Batterie und Thermometer dienten 6 Fufs lange Kupferdräthe. Als der Drath *A* mit der Batterie, *C* mit dem Thermometer verbunden war, wurde die Erwärmung durch den Nebenstrom für Einheit der Ladung 0,135 gefunden, der Drath *B* mochte entfernt sein, oder an seiner Stelle ungeschlossen liegen; waren hingegen die Enden von *B* durch einen $14\frac{1}{2}$ Fufs langen Kupferdrath mit einander verbunden, so war die Erwärmung nur 0,094. Der Nebenstrom wurde also durch die Nähe eines zweiten geschlossenen Drathes in dem Verhältnisse 100 zu 70 geschwächt. Der Drath, der diese Wirkung äufserte, lag zwischen dem Haupt- und Nebendrathe, er konnte aber auch an einer andern Stelle liegen, ohne seine Wirkung zu verlieren. Als nämlich *A* mit der Batterie, *B* mit dem Thermometer verbunden war und *C* zuerst frei lag, dann durch einen Kupferdrath geschlossen war, wurde der Nebenstrom in *B* im Verhältnisse 100 zu 84 geschwächt. In einem andern Versuche wurde das Thermometer mit dem Drathe *A*, die Batterie mit *B* verbunden; je nachdem *C* ungeschlossen oder geschlossen war, erhielt ich den Nebenstrom in *B* mit dem Werthe 100 oder 82. Die Schliefsung des einen Nebendrathes bringt also stets eine Schwächung des Stromes im andern Nebendrathe hervor, nur dafs diese Schwächung am

[864] gröfsten ist, wenn der störende Drath zwischen Haupt- und Nebendrath liegt, weil er dann beiden Dräthen näher ist, als in einer andern Lage. Man gewinnt hierdurch ein Mittel, einen vorhandenen Nebenstrom zu schwächen, das darin besteht, den Hauptstrom auf einen zweiten Nebendrath wirken zu lassen, der dem ersten Nebendrathe möglichst nahe steht.

865 Bei der unmittelbaren Wirkung eines Nebenstromes auf einen anderen, kann im Allgemeinen die mittelbare Wirkung nicht ausgeschlossen werden, die aber nach §. 862 unmerklich ist, in dem Falle, wo die unmittelbare Wirkung am stärksten auftritt, nämlich bei gutleitender Schliefsung des störenden Nebendrathes. Beide Wirkungen lassen sich nach einander aufzeigen, wenn man die Schliefsung jenes Nebendrathes successiv an Leitungsvermögen abnehmen läfst. Hierzu bedarf man kräftiger Nebenströme in langen Dräthen. Ich liefs um einen Holzcylinder von 13 Zoll Höhe, $6\frac{1}{2}$ Zoll Breite, drei Kupferdräthe neben einander spiralförmig aufwinden. Jeder Drath war $\frac{7}{12}$ Linie dick, 53 Fufs lang, und machte 31 Umgänge von $4\frac{1}{3}$ Linien Ganghöhe. Die erste Spirale wurde in den Hauptbogen der Batterie eingeschaltet, die zweite durch das Thermometer geschlossen, die dritte, welche die zweite Nebenspirale bildete, durch Dräthe von zunehmendem Verzögerungswerthe geschlossen. Ich werde diese Verzögerungswerthe angeben, und dabei den Werth für 1 Fufs Platindrath von 1 Lin. Radius zur Einheit nehmen. Die Stärke des Nebenstromes ist aus drei beobachteten Erwärmungen berechnet. Als die Enden der dritten Spirale frei lagen, wurde der Werth des Stromes 0,9 gefunden, wofür in der Tafel 100 gesetzt ist.

866

Bei Schliefsung der 2ten Nebenspirale durch:				
Metall.	Radius.	Länge.	Verzögerungswerth.	Werth d. Nebenstromes.
				100
Kupfer	0,31 Lin.	23 Zoll	3,1	61
		44	5,9	63
		67	9,0	69
		53 Fufs	85,6	93
Platin	0''',04098	59,2 Lin.	254	66
	0 ,02857	0,49 Fufs	609	59
		1,98	2435	56
		5,95	7298	59
		7,94	9737	62
		9,92	12162	66
		11,9	14587	69

Bei Schliefsung der 2ten Nebenspirale durch: Metall.	Radius.	Länge.	Verzögerungswerth.	Werth d. Nebenstromes. [866]
Platin	0''',02857	13,9 Fufs	17039	70
		19,8	24269	77
		29,7	36399	81
		43,6	53429	87
		63,5	77809	90
		79,3	97169	92
		103,2	126459	97

Indem die zweite Nebenspirale durch Dräthe von zunehmendem Verzögerungswerthe geschlossen wurde, erreichte der in der ersten Nebenspirale beobachtete Strom zwei Minima und zwei Maxima; nämlich, da er zu Anfange 100 war,

das erste	Minimum 61 bei dem Verzögerungswerthe	3
	Maximum 93 - - -	85
das zweite	Minimum 56 - - -	2435
	Maximum 97 - - -	126459

Bis zum Eintritte des ersten Maximum sind die Verzögerungswerthe der eingeschalteten Dräthe so klein, dafs keine mittelbare Wirkung des zweiten Nebenstromes auf den ersten stattfinden kann (§. 862.), es folgt demnach aus den Versuchen, dafs die unmittelbare Wirkung jenes Stromes in directer Beziehung zu seiner Stärke steht. Bei minder guter Schliefsung der zweiten Nebenspirale, tritt wiederum ein Minimum der Stärke an dem beobachteten Nebenstrome ein, aber bei einem nur empirisch zu bestimmenden Verzögerungswerthe der Schliefsung, wie dies schon §. 862 nachgewiesen worden ist.

867 In einer zusammenhängenden Metallplatte wird ein Nebenstrom erregt, dessen Stärke durch Metall und Dicke der Platte bestimmt wird (§. 842.); man kann sich daher solcher Platten bedienen, um die unmittelbare Wirkung zweier Nebenströme auf einander zu zeigen. Zwei kleine Inductionsscheiben (§. 823.), wurden 10 Lin. von einander gestellt, und beziehungsweise mit Thermometer und Batterie verbunden. Eine Entladung der Batterie durch die Hauptspirale, welche die Flüssigkeit im Thermometer um 42,8 Lin. hinabdrückte, blieb völlig wirkungslos, als eine Kupferscheibe von 0,33 Lin. Dicke zwischen die Spiralen gestellt war. Es wurden deshalb schlechter leitende Metallscheiben angewendet, und in der Entfernung von nahe 1 Lin. der Hauptspirale gegenübergestellt, die 2½ Lin. von der Nebenspirale entfernt war.

[867]

Zwischenplatte.		Stärke des Nebenstromes.	Verhältniss.
keine		0,66	100
unächtes Silberpapier		0,57	86
Stanniolblatt	0''',01 dick	0,087	13
-	0 ,0168	0,056	8,5
beide Blätter	0 ,0268	0,034	5,1
Kupferplatte	0 ,33 dick	0	0

Je besser leitend die Zwischenplatte, desto schwächer ist der Nebenstrom, so dafs die Kupferplatte einen unmerklichen Strom, das Silberpapier, das eine sehr dünne Metallplatte aus einer Zinn-Zinklegirung darstellt, einen Strom gab, der dem Strome bei fortgelassener Zwischenplatte nahe kam.

868 In jeder Platte wird ein Nebenstrom erregt, der, wenn man die Platte in der Richtung eines Radius durchschnitten hat, durch einen Funken merklich wird, welcher in dem Schnitte übergeht. Materie und Dicke der Platte bestimmt die Stärke des darin fliefsenden Nebenstromes. Diese Stärke war aber bei den drei ungleichartigen Platten zu verschieden von einander, und bei den 3 gleichartigen (Stanniol-) Platten zu wenig verschieden, als dafs wir den vollständigen Ueberblick über die Erscheinung erhalten könnten, den die Versuche des §. 866 geliefert haben. In den drei gleichartigen Platten ist die Stärke des Nebenstromes muthmafslich der Dicke der Platte direct proportional, und dabei bemerkenswerth, dafs die Producte der Dicke der Platten in die Stärke der, in der Nebenspirale beobachteten, Nebenströme 87 94 91, also nahe constant sind. Versieht man diese Platten mit Einschnitten, so wirken sie auf den Nebenstrom weniger störend ein, als wenn sie voll sind. Es wurde aus dem doppelten Stanniolblatte, von der Mitte aus, in der Richtung der Diagonale ein Streifen ausgeschnitten, 5 Zoll 6 Lin. lang, 1 Lin. breit, und mit dieser Zwischenplatte der Nebenstrom 0,30, oder im Verhältnisse zu dem ungestörten Nebenstrome 45 gefunden. Als die Lücke in dem Stanniol 7 Zoll lang und 2 Lin. breit gemacht war, erhielt ich den Nebenstrom 0,49 oder mit der Verhältnifszahl 74. Es war also ein Nebenstrom, der bei voller Zwischenplatte nur 5,1 betrug, dadurch, dafs die Platte mit einer engeren oder weiteren Spalte versehen wurde, auf

45 und 74 gehoben worden. Hierdurch wird erklärt, warum [868] die Wirkung des unächten Silberpapieres viel geringer ist, als sich nach der Dicke der darauf haftenden Metallschicht erwarten liefs. Dafs diese Schicht nicht zusammenhängend ist, zeigte bei den Versuchen das Leuchtendwerden des Blattes an verschiedenen Stellen.

869 Bei Anwendung von nichtleitenden Substanzen zu Zwischenplatten findet man keine Aenderung des Nebenstromes. Als ich eine $3\frac{1}{12}$ Lin. dicke Spiegelglasplatte, oder eine 5 Lin. dicke Schellackscheibe, zwischen die kleinen Inductionsscheiben stellte, wurde ihre Anwesenheit durch keine Aenderung des Nebenstromes merklich. Es giebt Uebergänge von den leitenden zu den nichtleitenden Substanzen, und man kann annehmen, dafs in jeder, zwischen zwei Spiralen gestellten, Platte ein Nebenstrom erregt wird, der aber so schwach sein kann, dafs er keine merkliche Wirkung auf den in der Nebenspirale erregten Strom äufsert. Da man sich auch von dem bestleitenden Stoffe eine Platte von solcher Dünne denken kann, dafs sie, wegen der Schwäche des darin erregten Nebenstromes, keine Wirkung auf den beobachteten Nebenstrom ausübt, so folgt, dafs in der Wirkung der Zwischenplatte kein wesentlicher Unterschied eintritt, es mag diese Platte aus leitendem oder isolirendem Stoffe bestehen.

870 Vergleicht man die Tafel des §. 867 mit der Tafel §. 842, wo die Aenderung des Hauptstromes durch der Hauptspirale nahestehende Platten bestimmt wurde, so kann es auffallen, dafs dieselben Platten in beiden Tafeln in umgekehrter Ordnung stehen. Während der Hauptstrom durch die Kupferplatte am wenigsten, durch das Silberpapier am meisten geschwächt wurde, sehen wir den Nebenstrom durch die als Zwischenplatte gebrauchte Kupferplatte aufgehoben, durch das Silberpapier nur wenig geschwächt. Man könnte erwarten, dafs hier das Silberpapier den Nebenstrom bedeutend schwächen müfste, weil dieser von einem durch das Papier geschwächten Hauptstrome erregt wird. Aber das Papier hat offenbar einen zwiefachen Einflufs auf den Hauptstrom; es schwächt ihn unmittelbar, und es stärkt ihn mittelbar durch Schwächung des Nebenstromes. Dies zeigte sich, als der Hauptstrom ge-

[870] messen wurde, während die Hauptspirale allein stand, dann mit gegenüberstehendem Silberpapier, dann mit gegenüberstehender, durch den Thermometerdrath geschlossenen, Nebenspirale, und endlich mit Nebenspirale und Silberpapier zugleich.

Vor der Hauptspirale.	Stärke des Hauptstromes.
Nichts	100
Silberpapier	64
geschlossene Nebenspirale	74
Silberpapier und Nebenspirale	68

Noch deutlicher wird die mittelbare Verstärkung des Hauptstromes durch Anwendung einer dicken Kupferplatte, die für sich den Hauptstrom nicht zu ändern vermag.

Vor der Hauptspirale.	Hauptstrom.
Nichts	100
geschlossene Nebenspirale	74
Nebenspirale und Kupferplatte	95

Die zwischen Haupt- und Nebenspirale gestellte Kupferplatte verstärkte hier den Hauptstrom dadurch, daſs sie den ihn schwächenden Nebenstrom zum gröſsten Theile aufhob.

871 Ein, in einer cylindrischen Drathspirale erregter, Nebenstrom wird durch Metallcylinder oder Röhren gestört, die in die Höhlung der Spirale geschoben werden. In dieser Weise ermittelte Dove [1]), daſs Bündel von Eisendräthen, massive Eisen- oder Nickelcylinder den Nebenstrom schwächen, wie es nach den obigen Versuchen unmagnetische Metalle thun.

Alle Störungen des Nebenstromes durch unmittelbare Einwirkung eines zweiten Nebenstromes rühren, wie die Störung des Hauptstromes durch einen Nebenstrom, oder die des Nebenstromes durch einen von ihm entfernten Nebenstrom, von einer Aenderung der Entladungszeit der Ströme her, ohne daſs die Elektricitätsmenge oder deren Dichtigkeit im Strome eine Aenderung erleiden (§. 861.). Die thermische Wirkung des Stromes, die mit seiner Verzögerung in einem bekannten Zusammenhange steht, giebt uns einen verständlichen Ausdruck für die Aenderung des Stromes. Dies ist nicht der Fall mit anderen Wirkungen des Stromes, die gleichfalls durch

---

[1]) Abhandlungen d. Akad. d. Wissensch. 1841.* 128.

Zwischenplatten verändert werden. Weder die physiologische, [871] noch die magnetische Wirkung des Nebenstromes läfst mit genügender Sicherheit auf die Veränderungen schliefsen, welche die Bedingungen des Stromes durch störende Ursachen erfahren haben. Findet sich z. B. die Thatsache aufgezeichnet, dafs bei Zwischenstellung eines dünnen Stanniolblattes zwischen eine Haupt- und Nebenspirale, die Magnetisirung durch den Nebenstrom stärker ausfällt, als wenn die Zwischenplatte fehlt, so läfst sich daraus auf die Aenderung des Nebenstromes keine bestimmte Folgerung ziehen. Ebenso ist nicht von der veränderten Richtung des Magnetismus einer Nadel auf die veränderte Richtung des Nebenstromes zu schliefsen. Auch die physiologische Wirkung des Nebenstromes giebt zur Beurtheilung dieses Stromes keinen genügenden Ausgangspunkt, da ihre Abhängigkeit von den Bedingungen des Stromes noch unklar ist, und sie leidet aufserdem an dem Mangel, dafs nur bedeutende Aenderungen des Nebenstromes durch sie merklich werden. Ich führe daher die Aenderungen dieser beiden Wirkungen mehr ihrer selbst willen auf, als zu einer Kenntnifs des Nebenstromes.

872 Störung der physiologischen Wirkung des Nebenstromes. Zur Untersuchung dieser Störung hat Dove ein Instrument, den *Differential-Inductor*, angegeben, an welchem die Wirkung der Differenz zweier Nebenströme beobachtet wird. Auf zwei, einen Fufs langen, einen Zoll weiten, Glasröhren sind cylindrische Spiralen gewunden, und ganz in Schellack eingelassen. Jede Spirale hat 80 Windungen, und besteht aus 32 Fufs eines ½ Linie dicken Kupferdrathes; sie ist von einer Pappröhre umschlossen, um welche ein 45 Fufs langer, ½ Linie dicker Kupferdrath, parallel mit der darunter liegenden Spirale, gewunden ist. Die beiden Spiralpaare sind auf Glasgabeln gelegt (Fig. 163.). Man benutzt die beiden inneren Spiralen als Hauptspiralen, indem man sie durch einen Querdrath verbindet und in den Hauptbogen der Batterie einschaltet. An den darauf liegenden Spiralen, die als Nebenspiralen benutzt werden, verbindet man zwei Enden in entgegengesetzter Weise, wie an den Hauptspiralen, z. B. an den Hauptspiralen die nächstliegenden Enden, an den Neben-

[872] spiralen die am entferntesten liegenden, so daſs die beiden erregten Nebenströme in der gemeinschaftlichen Schlieſsung einander entgegenlaufen. Werden daher die freien Enden der Nebenspiralen mit Dräthen und Handhaben versehen, und die letzteren von dem Beobachter ergriffen, so empfindet er bei der Entladung der Batterie keinen Schlag, weil die beiden gleichen Nebenströme einander aufheben. Der Schlag wird empfunden, wenn einer der beiden Ströme gestärkt oder geschwächt, oder beide in verschiedenem Maaſse verändert werden.

873 Hat man, durch Einschieben einer störenden Masse in die eine Rolle des Inductors, den darin erregten Nebenstrom geändert, so ist die Art der Aenderung zu bestimmen. Am sichersten geschieht dies dadurch, daſs man den entgegenwirkenden Nebenstrom in einer bekannten Weise ändert, und den Erfolg beobachtet. Dazu können Messingdräthe benutzt werden, von welchen direct nachzuweisen ist, daſs sie, in eine Röhre des Inductors gelegt, den darin flieſsenden Nebenstrom schwächen. Hat man, durch einen in die eine Röhre gelegten Körper, einen Schlag erhalten, so kann man schlieſsen, daſs der Körper den Nebenstrom schwächt, wenn durch Einlegen von Messingdräthen in die andere Röhre der Schlag an Stärke abnimmt, und das Entgegengesetzte im andern Falle. Dove fand [1]), daſs alle unmagnetischen Metalle die physiologische Wirkung des Nebenstromes schwächen, und zwar desto mehr, je besser leitend das Metall ist. Die Schwächung ist bei Antimon, Wismuth, Blei geringer, als bei Kupfer und Messing. Ein voller Cylinder wirkt stärker, als ein Bündel von Dräthen gleicher Masse, eine Metallröhre geschlossen stärker, als wenn sie an einer Seite aufgeschnitten ist. Bei den magnetischen Metallen kommt es auf die Form an, in welchem Sinne sie den physiologischen Effect des Nebenstromes ändern. Schmiedeeisen, weicher und harter Stahl, weiſses und graues Roheisen, in Form massiver Cylinder und prismatischer Stangen oder als geschlossene Röhren, wie Flintenläufe und vernietete Blechröhren, wirken schwächend. Dasselbe gilt von Scheiben aus

[1]) Abhandl. d. Akad. d. Wissensch. 1841.* 124.

Stahl, Schmiedeeisen oder verzinntem Eisenblech, die, mit [873] isolirenden oder leitenden Zwischenscheiben zu Säulen aufgestapelt, in eine Röhre des Inductors gelegt werden.

874 Verstärkt wird der physiologische Effect des Nebenstromes durch, der Länge nach, aufgeschnittene Flintenläufe, und besonders durch Bündel von gefirnifsten Eisendräthen. Steckt man jedoch ein solches Bündel in eine geschlossene Messingröhre, und legt es damit in eine Röhre des Inductors, so wird hierbei der physiologische Effect geschwächt, weil die Wirkung der Hülle des Bündels vorherrscht. Die Verstärkung des physiologischen Effectes durch Eisenbündel ist merkwürdig, da der thermische Effect des Nebenstromes dabei geschwächt wird (§. 871.).

Bei einer Wiederholung dieser Versuche gebrauchte ich zuerst nur Eine Nebenspirale des Differential-Inductors, die durch das Thermometer geschlossen wurde. Der Nebenstrom, aus 3 Beobachtungen des Thermometers berechnet, erhielt folgende Werthe.

In der Höhlung der Spirale.	Nebenstrom.
Nichts	100
Bündel von 100 Eisendräthen	94
- - 100 Messingdräthen	85
eine Messingröhre	77

Die Erwärmung, die den Nebenstrom mifst, wurde also durch alle in die Höhlung gelegten Metallmassen geschwächt. Als aber, an der Stelle des Thermometers, der Körper des Beobachters in den Nebenbogen eingeschaltet wurde, erfolgte bei gleicher Ladung der Batterie unzweifelhaft ein stärkerer Schlag, wenn das Eisenbündel in der Spirale lag, als wenn sie leer war, und der schwächste Schlag bei Anwendung der Messingröhre.

875 Noch auffallender waren die folgenden Versuche, bei welchen beide, einander entgegenwirkende Spiralen des Inductors angewendet, also Differenzen der Nebenströme beobachtet wurden. Der thermische Effect wurde bei der Elektricitätsmenge 20, der physiologische bei der Menge 15 beobachtet, bei beiden kamen 3 Flaschen der Batterie in Anwendung.

[875]

Versuch.	in der ersten Spirale.	in der zweiten	Erwärmung.	Schlag.
1	Eisenbündel (100 Dräthe)	Eisenbündel (100 Dr.)	0	0
2	Nichts	Messingbündel (100 Dr.)	1,5	0
3	Messingbündel	Eisenbündel	8,9	stark
4	Nichts	Eisenbündel	9,3	stark
5	Nichts	Messingröhre	10,1	schwach
6	Eisenbündel	Messingröhre	14,1	sehr stark.

Der dritte, vierte und fünfte Versuch lehren, wie die Versuche des vorigen Paragraphs, daſs eine starke physiologische Wirkung nicht immer mit einer entsprechenden thermischen Wirkung verbunden ist. Hiervon ist schon früher ein Beispiel vorgekommen (§. 619.), indem eine doppelte Elektricitätsmenge mit halber Dichtigkeit einen stärkeren Schlag gab, als die einfache Menge mit einfacher Dichtigkeit, obgleich in beiden Fällen der thermische Effect derselbe bleiben muſs. Am auffallendsten ist die sechste Beobachtung der Erwärmung. Obgleich das Eisenbündel, wie die Messingröhre, die thermische Wirkung schwächt (§. 871.), so ist dennoch die thermische Wirkung stärker, wenn zwei in dieser Weise geschwächte Nebenströme einander entgegenwirken, als wenn einer der geschwächten Ströme gegen einen nicht geschwächten wirkt. Es folgt aus diesen Versuchen, daſs Eisen nicht nur, wie die unmagnetischen Metalle, auf die Entladungszeit eines ihm nahe flieſsenden Stromes wirkt, sondern auch durch eigenthümliche Erregung Elektricitätsmenge und Dichtigkeit dieses Stromes, freilich in einer nicht klar daliegenden Weise, verändert.

876 Störung der magnetischen Wirkung des Nebenstromes. Die Versuche, die hierüber Dove[1]) am Differential-Inductor angestellt hat, dessen freie Enden durch eine Magnetisirungsspirale verbunden wurden, in der eine Stahlnadel lag, haben folgende Resultate gegeben. Der Ausdruck: im Sinne einer Spirale magnetisirt, sagt, daſs der Magnetismus der durch den Nebenstrom magnetisirten Nadel so gerichtet gewesen sei, als ob der Nebenstrom jener Spirale mit dem Hauptstrome gleiche Richtung besessen, und die Nadel der elektro-magnetischen Regel (§. 502.) gemäſs magnetisirt habe. Die beiden einander entgegenwirkenden Nebenströme

[1]) Abhandl. d. Akad. d. Wissensch.* 1841.

des Inductors liefsen die Nadel unmagnetisch, wenn beide [876] Spiralen leer waren. Die Magnetisirung der Nadel geschah in dem Sinne der *leeren* Spirale, wenn in die andere Spirale einer der folgenden Körper gelegt war: ein Blech von Iridium, Platin, Gold, Silber, eine Legirung von Kupfer, Wismuth, Antimon, eine von Kupfer, Blei, Zink, Antimon, von Blei und Eisen, von Messing und Eisen, Glockenmetall. Auch der Quere nach zusammengeschmelzte Streifen von Kupfer und Antimon, von Glockengut und Antimon, von Antimon und Wismuth hatten dieselbe Wirkung. Es erfolgte keine Magnetisirung, wenn in die eine Spirale eine Stange von Antimon oder Wismuth, eine Legirung von 1 Theil Wismuth und 1 Antimon oder von 3 Theilen Wismuth und 1 Antimon gelegt war.

Die Magnetisirung erfolgte im Sinne der *vollen* Spirale, wenn darin lag: ein freiliegendes Eisendrathbündel, eine Säule von Scheiben aus Stahl, Eisen, oder Weifsblech, ein massiver Cylinder von Schmiedeeisen, weichem oder hartem Stahl, weifsem oder grauem Roheisen, eine Stange oder Röhre aus Nickel. Die Eisendrathbündel steigerten den magnetisirenden Effect in hohem Grade, wenn sie frei lagen, und übten, selbst in Röhren gelegt, einen Einflufs aus, wenn starke Batterieladungen angewendet wurden. Es hat hiernach den Anschein, dafs die unmagnetischen Metalle die magnetisirende Eigenschaft des Nebenstromes schwächen, die magnetischen stärken, gleichgültig, in welcher Form sie angewendet werden. Henry [1]) hatte schon früher bei Anwendung einer einfachen Haupt- und Nebenspirale bemerkt, dafs, wenn gutleitende Metallplatten zwischen beide Spiralen gestellt wurden, die Magnetisirung von Nadeln durch den Nebenstrom geschwächt oder ganz aufgehoben werden konnte.

---

[1]) *Sturgeon annals of electr.** 4. 302.

Viertes Kapitel.

Die Ströme dritter und höherer Ordnung. Richtung der Nebenströme.

877 Wie der Hauptbogen der Batterie in einem ihm nahegelegten Drathe den Nebenstrom erregt, so erregt der Nebenbogen einen neuen Nebenstrom, der Schliefsungsbogen dieses Stromes einen neuen Strom und so fort. Alle diese, durch Induction entstandenen, Ströme treten mit dem Hauptstrome der Batterie zugleich auf und werden *Nebenströme* oder *Ströme höherer Ordnung* genannt, und der Folge ihrer Entstehung nach durch Zahlwörter unterschieden. Der Hauptstrom wird als primärer oder Strom erster Ordnung bezeichnet, ihm folgt der Strom zweiter Ordnung (Nebenstrom, secundärer Strom), diesem der Strom dritter Ordnung (tertiärer Strom), diesem der Strom vierter Ordnung u. s. w. Von diesen Strömen habe ich den, vorzugsweise Nebenstrom genannten, secundären Strom in den beiden vorigen Kapiteln ausführlich abgehandelt, ohne jedoch auf seine Richtung näher einzugehen, die passender zugleich mit der Richtung der übrigen Ströme betrachtet wird. Zur Erregung eines Stromes höherer Ordnung werden mehrere Paare von ebenen oder cylindrischen Spiralen gefordert, die nach ihrer Stellung unterschieden werden. Alle Spiralen die einen Strom erregen, werden *Hauptspiralen*, alle erregten *Nebenspiralen* genannt, und erhalten die nähere Bezeichnung nach dem Strome, der in ihnen fliefst. Die Spirale im Schliefsungsbogen der Batterie soll, wie früher, Hauptspirale ohne Beisatz, die ihr nahestehende im Nebenbogen Nebenspirale oder secundäre Nebenspirale heifsen. Die zweite im Nebenbogen befindliche Spirale ist die *secundäre Hauptspirale*, ihr nahe steht die *tertiäre Nebenspirale*. Befindet sich im tertiären Bogen eine Hauptspirale, so ist dies die *tertiäre Hauptspirale*, der die *Nebenspirale vierter Ordnung* nahe steht u. s. w.

Die in dem Folgenden angewandten Spiralen befanden sich [877] theils auf den Inductionsscheiben, theils auf dem Inductionscylinder (§. 823.).

Der tertiäre Strom.

Dieser Strom wurde in folgender Weise erhalten. Der 878 Schliefsungsbogen der Batterie enthielt eine grofse Inductionsscheibe *A* (Fig. 164.), der Nebenbogen in 2 Linien Entfernung die secundäre Nebenspirale *B* und eine ihr gleiche secundäre Hauptspirale *C*. Die Enden der beiden letzten Spiralen waren durch Kupferdräthe, und durch einen dünnen, bei *p* eingeschalteten, Platindrath mit einander verbunden. Dieser Drath hatte dieselben Dimensionen und Befestigungen, wie der Drath im Thermometer, so dafs, wenn das Thermometer an die Stelle jenes Drathes gesetzt wurde, der Nebenbogen unverändert blieb. Die, den vorigen Spiralen gleiche, tertiäre Nebenspirale *D* wurde durch Kupferdräthe, die den Dräthen im secundären Bogen gleich waren, mit dem Thermometer verbunden. Es hatte daher der tertiäre Bogen, so weit möglich, dieselbe Beschaffenheit, wie der secundäre, und beide Bogen wurden in demselben Zustande erhalten, wenn der Platindrath *p* und das Thermometer mit einander vertauscht wurden. Ich bestimmte den secundären und tertiären Strom durch sechs Erwärmungen des Thermometers. Bei Einheit der Ladung fand sich der Werth des secundären Stromes 0,5, der des tertiären 0,4, die Stärke des letzten also $\frac{4}{5}$ von der des ersten. Dies Verhältnifs ist indefs nur für ein Beispiel davon zu nehmen, wie stark der tertiäre Strom erhalten werden kann; es bleibt bei anderer Beschaffenheit der Bogen beider Ströme nicht constant. Es ist nämlich gezeigt worden (§. 828.), dafs der Werth des secundären Stromes im Allgemeinen nicht aus dem Verzögerungswerthe seiner Schliefsung abgeleitet werden kann, und Dasselbe wird für den tertiären Strom gezeigt werden. Würden wir also gleiche Dräthe von dem secundären und tertiären Bogen fortnehmen, oder zu ihnen hinzusetzen, so würden beide Ströme nicht in

[878] demselben Verhältnisse geändert, und es würde daher auch ihr Verhältnifs zu einander gestört werden.

879 Einflufs der Beschaffenheit der Schliefsung auf den tertiären Strom. Ich gebrauchte die Anordnung des Apparates, die im vorigen Paragraphe beschrieben, und in Fig. 164 abgebildet ist. Der tertiäre Bogen wurde dadurch geändert, dafs zwischen die Enden *a* und *b* der Kupferdräthe verschiedene Längen eines Platindrathes von 0,0286 Lin. Radius eingeschaltet wurden. Diese Längen sind in der folgenden Tafel mit der Vereinfachung angegeben, dafs 1,98 Fufs zur Einheit angenommen ist.

Länge des in den tertiären Bogen eingeschalteten Drathes.	Stärke des tertiären Stromes beobachtet	berechnet
0	0,40	0,40
0,494	0,32	0,345
1	0,29	0,302
3	0,197	0,202
7	0,126	0,122
11	0,087	0,087

Die Beobachtungen schliefsen sich der Formel $\theta = \frac{0,40}{1 + 0,327\,V}$ wo V den Verzögerungswerth des eingeschalteten Drathes bezeichnet, nicht genau an. Welche zwei Werthe man auch zur Bestimmung der beiden Constanten benutzt (es ist hier die erste und letzte Beobachtung gewählt), so finden sich immer einige Einschaltungen, bei welchen die Beobachtung bedeutend von der Rechnung abweicht. In Bezug auf die speciellen Dräthe, bei welchen dies stattfindet, gilt Dasselbe, was ich bei Gelegenheit der Einschaltungen in den secundären Bogen bemerkt habe (§. 828.). Da die Aenderung des tertiären Stromes, die in der Aenderung seines Bogens begründet ist, der Formel streng folgen mufs, so ist aus jener Nichtübereinstimmung zu schliefsen, dafs die Rückwirkung des tertiären Stromes auf den secundären nicht in dem Verhältnisse geschieht, welches die Formel bestimmt, so dafs eine Verlängerung des tertiären Bogens den secundären Strom nicht unbedingt schwächt. Dies zeigen die folgenden Versuche.

880 Rückwirkung des tertiären Stromes auf den secundären. Der zuletzt gebrauchte Apparat wurde dahin

abgeändert, daſs das Thermometer (Fig. 164.) an die Stelle [880]
des Platindrathes *p* gesetzt, die Stelle des Thermometers durch Kupferdrath ausgefüllt wurde. Nachdem zwischen die Enden *a* und *b* ein Kupferdrath oder steigende Längen eines Platindrathes eingeschaltet waren, wurde das Thermometer beobachtet und die Stärke des secundären Stromes danach berechnet.

In den tertiären Bogen eingeschaltet			Stärke des secundären Stromes	
	Radius	Länge		Verhältniſs
Kupfer	$\frac{5}{18}$ Lin.	7 Zoll	0,77	100
Platin	0,0286 Lin.	0,49 Fuſs	0,73	95
		1,98	0,54	70
		3,97	0,41	53
		5,95	0,33	43
		9,9	0,26	34
		15,9	0,21	27
		19,8	0,19	25
		25,7	0,18	23
		77,3	0,22	29
		89,3	0,23	30
		101	0,24	31

Bei zunehmender Länge des tertiären Bogens nimmt der secundäre Strom ab, und zwar anfangs schnell, später langsam und erreicht einen kleinsten Werth, wonach er mit fernerer Verlängerung des Bogens wieder zunimmt. So hat der Strom bei Einschaltung von nahe 4 Fuſs des Platindrathes beinah die Hälfte des Werthes erreicht, den er bei Schlieſsung des Bogens durch einen kurzen Kupferdrath besaſs, aber erst bei Einschaltung von 25,7 Fuſs erreichte er den kleinsten Werth, der weniger als $\frac{1}{4}$ des anfänglichen Werthes beträgt. Diese Erscheinung lehrt, daſs der tertiäre Strom eine Rückwirkung auf den secundären ausübt, die ihr Maximum erreicht bei einem bestimmten Verzögerungswerthe des tertiären Bogens. Es ist dies, wie die ähnliche Erscheinung am Hauptstrome (§. 851.), zu erklären durch ein immer tieferes Eingreifen des tertiären Stromes in die Partialentladungen des secundären Stromes.

881 Die Gleichheit der Erscheinung bei dem Hauptstrome und dem secundären Strome erleidet eine auffallende Ausnahme, die sich jedoch bei näherer Betrachtung als scheinbar

[881] erweist. Der Hauptstrom hat seinen gröfsten Werth bei Schliefsung der Nebenspirale durch einen gutleitenden Drath, dieser Werth nimmt mit fortwährend verschlechterter Schliefsung zuerst ab, alsdann wieder zu, und erreicht seine anfängliche Gröfse, wenn die Nebenspirale ungeschlossen bleibt. Letzteres ist bei dem secundären Strome nicht der Fall. Als in der obigen Versuchsreihe die tertiäre Nebenspirale offen blieb, wurde der secundäre Strom 0,53 oder in der Verhältnifszahl 69 gefunden, also viel kleiner, als bei vollkommener Schliefsung der tertiären Spirale. Es rührt dies von der Spiralform des secundären Bogens her, die, wie sich weiter unten zeigen wird (§. 885.), den secundären Strom schwächt. Diese Schwächung wird durch die Schliefsung der tertiären Nebenspirale grofsentheils wieder aufgehoben. Auch der Hauptstrom wird durch Spiralform seines Bogens geschwächt, und durch das Nahestellen einer zweiten geschlossenen Spirale wieder gestärkt; diese Wirkungen sind aber so gering, dafs es eigener Vorrichtungen bedarf, sie bemerklich zu machen, und sie daher gewöhnlich unbemerkt bleiben. Der hervorgehobene Unterschied zwischen Haupt- und secundären Strom ist also principiell nicht vorhanden, da er einerseits nur in der Gröfse der Wirkung besteht, andrerseits durch die unwesentliche (Spiral-) Form des Bogens bedingt wird.

882 Die Einwirkung der tertiären Schliefsung auf den secundären Bogen ist nach der Beschaffenheit des Hauptbogens darin verschieden, dafs von dieser Beschaffenheit die Gröfse des Minimum des secundären Stromes, und die Länge des tertiären Bogens abhängt, bei welcher dies Minimum eintritt. In den folgenden Beobachtungen war der in §. 880 gebrauchte Hauptbogen durch einen 119 Linien langen Platindrath von 0,0209 Lin. Radius verlängert worden.

[882]

In den tertiären Bogen eingeschaltet	Radius	Länge	Stärke des secundären Stromes	Verhältniſs
Kupfer	$\frac{5}{18}$ Lin.	7 Zoll	0,45	100
Platin	0,0286 Lin.	0,49 Fuſs	0,43	96
		1,98	0,33	73
		5,9	0,27	60
		9,9	0,22	49
		37,6	0,17	38
		49,6	0,15	33
		61,5	0,14	31
		73,4	0,17	38
		101	0,17	38

Die Abnahme des secundären Stromes, durch tertiäre Schlieſsungen derselben Beschaffenheit, wie in §. 880, herbeigeführt, zeigt hier einen durchaus veränderten Gang. Während früher die Einschaltung von 25,7 Fuſs Drath den kleinsten secundären Strom zur Folge hatte, tritt hier das Minimum erst bei Einschaltung von 61,5 Fuſs ein. Früher betrug der Werth des schwächsten Stromes 23, hier 31, wenn der Strom bei vollkommener Schlieſsung 100 gesetzt wird. Je unvollkommener also die Leitung im Hauptdrathe ist, desto länger muſs die tertiäre Schlieſsung sein, um den tertiären Strom auf sein Minimum zu bringen, aber zugleich ist der relative Werth dieses Minimum gröſser. Dies Resultat entspricht dem am Hauptstrome gefundenen (§. 846.), wo ebenfalls die Einschaltung eines Platindrathes in den Hauptdrath den kleinsten Werth des Hauptstromes vergröſserte, und zu dessen Erreichung eine längere Nebenschlieſsung nöthig machte.

883 Auch der tertiäre Strom kann dadurch geschwächt werden, daſs man einen zweiten tertiären Strom auf ihn wirken läſst, wie dies für den secundären Strom gezeigt worden ist (§. 865.). Der dort gebrauchte, mit drei neben einander liegenden Drathspiralen bedeckte Holzcylinder wurde zwischen einem secundären und tertiären Bogen eingeschaltet, indem die eine Spirale als secundäre Hauptspirale, die zweite als tertiäre Nebenspirale benutzt wurde. Als die dritte Spirale ungeschlossen blieb, erhielt ich den Werth 100 für den tertiären Strom und nur 44, als diese Spirale durch einen 23 Zoll langen Kupferdrath geschlossen war. Es wird also ein ter-

[883] tiärer Strom bedeutend geschwächt, wenn man in seiner Nähe einen zweiten kräftigen tertiären Strom erregen läfst.

Alles was hier in Bezug auf die Ströme zweiter und dritter Ordnung aufgezeigt worden, gilt auch für die Ströme vierter, fünfter und folgender Ordnung. Nur ist die Abhängigkeit jedes Stromes von der Beschaffenheit seines Bogens desto verwickelter, je höher die Ordnung des Stromes ist. Eine Aenderung der Schliefsung jedes Stromes verändert die Stärke aller vorhandenen Ströme, und zwar nach Maafsgabe der relativen Beschaffenheit aller Schliefsungen. Ein Strom, zu dessen Bogen ein bestimmter Drath hinzugesetzt ist, wird zwar am bedeutendsten nach dem Verzögerungswerthe dieses Drathes geändert, aber zugleich nach dem Verzögerungswerthe seines ganzen Bogens im Verhältnisse zu den Verzögerungswerthen aller vorhandenen Schliefsungsbogen. Es wäre nutzlos, diese verwickelten Beziehungen in einzelnen Versuchen aufzuzeigen, die immer nur eine ganz specielle Bedeutung erlangen könnten. Ich wende mich zu einer Aenderung der Nebenströme, die schon durch den Sinn der Aenderung sehr wichtig wird, ohne dafs eine quantitative Bestimmung derselben erfordert würde.

Abhängigkeit der Ströme höherer Ordnung von der Form ihrer Schliefsungen.

884 Bei dem Einflusse der Form des Hauptbogens auf den Hauptstrom haben wir drei Formen unterschieden: die gerade, die Nform und die Uform (§. 855.), die durch verschiedenartige Verbindung zweier ebenen Spiralen herbeigeführt wurden. Die Ströme höherer Ordnung gestatten einfachere Vorrichtungen. Die Nform wird erhalten durch eine einfache, ebene oder cylindrische, Spirale, die Uform durch einen im Zickzack gebogenen Drath. Man hat bei der letzten Form darauf zu sehen, dafs die einzelnen U einander nicht zu nahe liegen. Zu dauerndem Gebrauche legte ich drei identische Dräthe in die entscheidenden Formen; jeder Drath mafs 53 Fufs, war $\frac{5}{8}$ Linie dick, und bestand aus Kupfer. Der erste

Drath wurde auf Seidenschnüren ausgebreitet, so dafs keine [884] Einwirkung eines Theiles des Drathes auf einen anderen stattfand (gerade Form). Der zweite Drath wurde als ebene Spirale auf einer Holzplatte befestigt, so dafs er eine Inductionsscheibe bildete, oder um einen Holzcylinder gewunden, so dafs er eine Spirale des Inductionscylinders bildete (§. 820.). Der dritte Drath wurde auf die Kanten zweier Guttaperchastreifen, die an den gegenüberliegenden Kanten eines nahe 1 Fufs breiten Brettes befestigt waren, im Zickzack aufgelegt, so dafs 25 U gebildet wurden, deren Schenkel im Mittel 1,2 Linie von einander standen (Fig. 165.). Von diesen U liefs ich 13, nämlich das 1ste, 3te bis 25ste U auf der Unterlage horizontal liegen und bog die übrigen 12 U aufwärts, so dafs 6 in einer etwa 50 Grad, die anderen 6 in einer 60 Grad gegen den Horizont gerichteten Ebene zu liegen kamen. Es geschah dies, um die gegenseitige Einwirkung auf die Schenkel jedes U zu beschränken, und die Wirkung zweier U auf einander zu verringern. Man sieht nämlich in der Figur, dafs zwei einander nächstliegende Schenkel von dem Strome in entgegengesetzter, zwei ferner liegende in gleicher Richtung durchflossen werden. Der Erfolg der Wirkung der Schenkel soll aber unter der ersten Bedingung untersucht werden. Ich werde die beschriebene Drathvorrichtung *Utafel* nennen.

885 Aenderung des secundären Stromes. Der Hauptbogen enthielt als Hauptspirale eine kleine Inductionsscheibe, der Nebenbogen die dazu gehörige Nebenspirale in 1 Linie Entfernung, das Thermometer, und einen 44,7 Fufs langen, $\frac{7}{24}$ Lin. dicken Kupferdrath in gerader Form. Nachdem der Nebenstrom bei dieser Anordnung gemessen war, wurde der Kupferdrath abgenommen und frei zu einer ebenen Spirale aufgewunden. Hierzu waren zwei Guttaperchastreifen zu einem Kreuze verbunden, auf dessen hohe Kante die Windungen des Drathes aufgelegt, und durch Erhitzung befestigt wurden. Die so gebildete ebene Spirale enthielt 26 Windungen mit dem gröfsten Halbmesser von 69, und dem kleinsten von 8 Linien. Als die Spirale in den Nebenbogen gebracht worden, war der Nebenstrom so schwach geworden, dafs er

[885] erst bei bedeutend stärkeren Ladungen, als früher, bestimmt werden konnte. Es wurden 3 Flaschen der Batterie gebraucht.

Im Nebenbogen 44 Fufs Kupferdrath				
	in gerader Form		in Form einer ebenen Spirale	
	Elektr.menge	Erwärmung	Elektr.menge	Erwärmung
	10	5,9	20	2,2
	12	7,4	25	3,8
	14	9,1		
Einheit der Ladung		0,16		0,017

Der secundäre Strom war dadurch, dafs ein gerades Stück des Nebenbogens zu einer ebenen Spirale aufgewunden wurde, im Verhältnisse 100 zu 11 geschwächt worden. In der Spirale wirkt jede Windung auf die ihr zunächst liegende, und zwar durchläuft der Strom beide Windungen in derselben Richtung. Es tritt also, ähnlich wie im Hauptdrathe, eine Schwächung des Nebenstromes ein durch die N form des Nebenbogens. Die Gröfse der Schwächung hängt, wie von selbst klar ist, von der Länge des Stückes des Nebenbogens ab, das eine Formänderung erfahren hat, und ist hier so bedeutend, weil der ganze Nebenbogen nur etwa 60 Fufs mafs, von welchen 44 Fufs die Spiralform erhielten.

886 In den folgenden Versuchen war das Stück der Nebenschliefsung, dessen Form geändert wurde, kleiner als im vorigen Paragraphe, und daher auch die Aenderung des Stromes geringer. Eine grofse Inductionsscheibe (53 Fufs Drath) wurde in dem Hauptbogen angebracht; der Nebenbogen enthielt die dazu gehörige Inductionsscheibe, das Thermometer und 53 Fufs Kupferdrath, der in den §. 884 beschriebenen 3 Formen angewendet wurde. Die folgenden Erwärmungen sind daher bei, bis auf die Form, vollkommen identischen Haupt- und Nebenbogen beobachtet, und geben die einfachste Anschauung der Abhängigkeit des Nebenstromes von der Form seines Bogens.

[886]

Flaschenzahl	Elektr.menge	Im Nebenbogen 53 Fufs Kupferdrath gerade ausgespannt	als ebene Spir.	als Utafel
		Erwärmung		
3	6	9,6		11,5
	8	16,2	10,8	18,3
	10	24,5	16	27
	12		21,2	
4	6	7,5		8,2
	8	12,8	7,7	15,2
	10	18,8	11,4	21,2
	12		16,2	
Einheit der Ladung		0,78	0,47	0,89
Verhältnifs		100	60	114

Der Nebenstrom = 100 gesetzt, wenn ein Stück seines Bogens gerade ausgespannt ist, wurde durch Biegung dieses Stückes in die Nform bis 60 geschwächt, durch Biegung in die Uform bis 114 gestärkt. Beiläufig wurde auch die Schwächung versucht, als in der Nebenschliefsung eine Unterbrechung von 0,2 Linie angebracht war, durch die der Nebenstrom mit einem Funken ging; ich erhielt den Strom mit dem Werthe 59, also ebenso wie bei vollem Drathe. Es gilt demnach für den secundären Strom dasselbe Gesetz, das für den Hauptstrom gefunden worden: *bei Näherung zweier parallelen Stücke des Nebenbogens an einander, wird der secundäre Strom geschwächt, wenn er beide Stücke in gleicher, und verstärkt, wenn er sie in entgegengesetzter Richtung durchläuft.*

887 Obgleich auf der Utafel Drathlänge und Entfernung zweier nächstliegenden Drathstücke dieselben waren, wie in der ebenen Spirale, so ist doch die Wirkung der Tafel in Verstärkung des Stromes bedeutend kleiner, als die der Spirale in der Schwächung. Dies rührt davon her, dafs in der Spirale die Wirkung eine viel gröfsere Drathlänge umfafst, als in der Utafel. Während nämlich auf der Tafel nur die Wirkung der Schenkel desselben U zur Verstärkung beiträgt, erstreckt sich die Wirkung jeder Windung der Spirale über die nächstfolgende hinaus auch auf die ferner liegenden Windungen. Zwar erfolgt diese Wirkung aus immer gröfseren Entfernungen, nimmt aber nur wenig ab. Wendet man daher zur Schwächung des Nebenstromes Spiralen von ungleicher Gang-

[887] höhe an, so ist die Wirkung weniger verschieden, als sich nach dem Verhältnisse der Ganghöhe erwarten liefse. Ich verglich in dieser Beziehung eine cylindrische Spirale, die sich auf dem Inductionscylinder (§. 820.) befand, mit einer ebenen Spirale von gleicher Drathlänge und Anzahl der Windungen. In der cylindrischen Spirale betrug der Zwischenraum zwischen zwei Windungen 2,6 Linien, in der ebenen 1,2 Linie. Ein Nebenstrom, der durch Einschaltung der ebenen Spirale statt eines geraden Drathes von 100 auf 65 gebracht wurde, sank durch Einschaltung der cylindrischen Spirale noch immer bis 74. Es ist hierbei noch zu berücksichtigen, dafs eine cylindrische Spirale, die mit einer ebenen gleiche Ganghöhe hat, schon an sich schwächer, als diese, wirkt.

888 Ursache der Abhängigkeit des secundären Stromes von der Form seines Bogens. Wie nach einer früheren Annahme (§. 858.) die Abhängigkeit des Hauptstromes von der Form seines Bogens auf der Erregung eines secundären Stromes beruht, so ist zu vermuthen, dafs die in den vorangehenden Paragraphen angeführten Thatsachen in der Erregung eines tertiären Stromes in den Windungen des Nebenbogens ihren Grund haben. Diese Vermuthung läfst sich hier durch einen schlagenden Versuch zur Gewifsheit erheben, indem man die Bildung eines tertiären Stromes durch das §. 883 angegebene Mittel erschwert. Es wird nämlich der in dem Nebenbogen angenommene tertiäre Strom geschwächt werden müssen, wenn wir zur Bildung eines zweiten tertiären Stromes Gelegenheit geben. Der Schliefsungsbogen der Batterie enthielt eine grofse Inductionsscheibe, im Nebenbogen war die zweite Inductionsscheibe, das Thermometer und ein 53 Fufs langer Kupferdrath vorhanden, der später mit einer ebenen Spirale gleicher Länge, oder der einen cylindrischen Spirale des Inductionscylinders, vertauscht wurde. Der ebenen wie der cylindrischen Spirale stand in 1 Linie Entfernung eine zweite parallellaufende Spirale nahe, deren Enden zuerst ungeschlossen blieben, dann durch einen 23 Zoll langen Kupferdrath geschlossen wurden (Fig. 166.). Diese letzte Spirale ist daher eine tertiäre Nebenspirale. Bei diesen verschiedenen

Anordnungen sind folgende Werthe des secundären Stromes [888] für Einheit der Ladung gefunden worden:

In den Nebenbogen 53 Fufs Kupferdrath eingeschaltet.

	in gerader Form	als cylindrische Spirale	tert. Nebensp. geschlossen	als ebene Spirale	tert. Nebensp. geschlossen
secundär. Strom	0,80	0,59	0,78	0,52	0,76
Verhältnifs	100	74	98	65	95

Der secundäre Strom, der bei Einschaltung eines geraden Drathes den Werth 100 hatte, wurde bis 74 und 65 geschwächt, wenn statt jenes Drathes eine cylindrische oder ebene Spirale benutzt wurde, stieg aber wieder beziehungsweise bis 98 und 95, wenn eine zweite geschlossene Spirale der ersten nahe stand. Die Schwächung des secundären Stromes, die durch die Spiralform seines Bogens gegeben war, wurde also gröfstentheils wieder aufgehoben, wenn in der Spirale die Bildung eines tertiären Stromes erschwert war. Nun ist aber gezeigt worden (§. 880.), dafs ein tertiärer Strom derselben Richtung, wie der in der Spirale erregte, einen secundären Strom schwächt, in dessen Nähe er fliefst, und es ist daher der vollständige Beweis gegeben, dafs die Schwächung des Nebenstromes durch die Form des Nebenbogens von einem, in der Masse des Nebenbogens erregten, tertiären Strome herrührt.

889 So grofse Wahrscheinlichkeit dafür ist, dafs auch die Verstärkung des Nebenstromes durch einen tertiären Strom bewirkt wird, so war es doch wünschenswerth, dafür einen experimentellen Beweis zu haben, da kein directer Versuch die Verstärkung eines secundären Stromes durch einen tertiären aufzeigt. Ich liefs zwei Kupferdräthe, jeder 53 Fufs lang, $\frac{5}{8}$ Linie dick, auf einem eichenen Brette dergestalt befestigen, wie in Fig. 167 ersichtlich ist (der eine Drath, obgleich dem anderen völlig gleich, ist zur Unterscheidung punktirt). Die Dräthe bilden in derselben Ebene 102 Lagen, die auf dem Brette eine Länge von 14$\frac{1}{4}$ Zoll einnehmen, der Zwischenraum zwischen 2 Lagen beträgt eine Linie. Es wurde ein secundärer Strom in einer kleinen Inductionsscheibe erregt und durch das Thermometer gemessen, während entweder ein 53 Fufs langer gerader Kupferdrath, oder einer der eben so

[889] langen Dräthe auf dem Brette sich in dem Nebenbogen befand. Die Erwärmung für die Einheit der Ladung betrug in dem ersten Falle 0,79, im zweiten 1,15; der Nebenstrom war also durch die Uform seines Bogens im Verhältnisse 100 zu 145 verstärkt worden. Bei der Uform lag zwar dem schliefsenden Drathe ein zweiter parallellaufender Drath nahe, dieser blieb aber unwirksam, weil seine Enden frei lagen. Als diese Enden durch einen 23 Zoll langen Kupferdrath mit einander verbunden wurden, erfolgte im Nebendrathe eine Erwärmung 1,08; der Nebenstrom hatte demnach den Werth 137, er war wieder schwächer geworden. Es ist also unzweifelhaft die Verstärkung durch einen tertiären Strom herbeigeführt worden, da sie durch Schliefsung eines nebenliegenden Drathes vermindert werden konnte.

890 Auffallend ist die Geringfügigkeit der Wirkung des nebenliegenden Drathes auf den Uförmigen, in Vergleichung mit der oben bemerkten starken Wirkung eines solchen Drathes auf eine Spirale (§. 888.). Hieraus folgt, dafs der Uförmige Drath nur einen schwachen Nebenstrom zu erregen vermochte, und dies wurde durch einen Versuch bestätigt. Als nämlich der eine Udrath in dem Schliefsungsbogen der Batterie angebracht war, der aufserdem eine Spirale des Inductionscylinders enthielt, der zweite Udrath mit dem Thermometer verbunden wurde, ergab die Messung einen äufserst schwachen secundären Strom. Bezeichnet man den secundären Strom, der durch den Inductionscylinder erregt wurde, mit 100, so war der durch den Udrath unter gleichen Umständen erregte Strom nur 4 bis 5. Der Grund dieser schwachen Erregung wird durch einen Blick auf die Figur 167 klar. Jeder Schenkel des Hauptdrathes erregt einen Nebenstrom in zwei Schenkeln des Nebendrathes, z. B. A in den Schenkeln a und b. Diese Ströme laufen in dem Nebendrathe einander entgegen, und es kann nur ihre Differenz den ganzen Nebenbogen durchlaufen. Nun ist zwar der Strom in a von dem Hauptdrathe aus der Entfernung von 1 Linie, der Strom in b aus der Entfernung von 2 Linien erregt, es ist aber früher gezeigt worden (§. 815.), dafs bei so kleinen Entfernungen der Nebenstrom in weit geringerem Verhältnisse

abnimmt, als die Entfernung zunimmt. Das Resultat der Einwirkung aller Schenkel des Hauptdrathes auf die des Nebendrathes kann daher nur ein schwacher Nebenstrom sein. [890]

891 Aenderung des tertiären Stromes nach der Form seines Bogens. Der Apparat hatte die Einrichtung, die aus Fig. 164 zu ersehen ist. Die vier Spiralen waren die der grofsen Inductionsscheiben, je zwei 2 Linien von einander entfernt. In den tertiären Bogen wurden zwei kleine Inductionsscheiben hinter einander eingeschaltet, und entweder in N- oder Uverbindung mit einander gebracht (§. 856.). Die kleinen Spiralen wurden zuerst so weit aus einander gerückt, dafs erweislich keine Wirkung der einen auf die andere stattfand. Nachdem eine Messung des tertiären Stromes ausgeführt war, wurden die kleinen Spiralen einander parallel in $1\frac{1}{3}$ Linie Entfernung gegenübergestellt, und der Strom bei N- und Uverbindung der Spiralen gemessen.

	Spiralen aufser Wirkungsnähe	auf einander wirkend in	
		Uverbindung	Nverbindung
Tertiärer Strom	0,31	0,38	0,23
Verhältnifs	100	123	74

Durch die Uverbindung ist der tertiäre Strom gestärkt, durch die Nverbindung geschwächt worden. Es gilt daher für diesen Strom derselbe Satz, der für den Haupt- und secundären Strom gilt: Werden zwei parallele Stücke des tertiären Bogens einander nahe gebracht, so wird der tertiäre Strom geschwächt, wenn er beide Stücke in gleicher, und gestärkt, wenn er sie in entgegengesetzter Richtung durchläuft.

892 Nach Analogie mit den früheren Versuchen ist zu schliefsen, dafs in den Versuchen des vorigen Paragraphs eine Rückwirkung des Stromes vierter Ordnung auf den tertiären Strom stattgefunden. Es wird dies durch den folgenden Versuch bewiesen. Hauptspirale und secundäre Nebenspirale befanden sich auf dem Inductionscylinder, secundäre Hauptspirale und tertiäre Nebenspirale waren grofse Inductionsscheiben, 1 Linie von einander stehend, das Thermometer war in den tertiären Bogen eingeschaltet (Fig. 164.). Zwischen den Enden *a* und *b* wurde ein 53 Fufs langer Drath eingeschaltet und später durch eine ebene Spirale ersetzt, der eine gleiche Spirale nahe

[892] stand, die entweder offen blieb, oder durch einen kurzen Drath geschlossen wurde. In der letzten Anordnung wird der Apparat durch Fig. 168 erläutert.

	In den tertiären Bogen 53 Fufs Drath eingeschaltet in gerader Form	als ebene Spirale	als ebene Spirale Spirale 4. Ordn. geschloss.
Tertiärer Strom	0,79	0,26	0,64
Verhältnifs	100	33	81

Der tertiäre Strom ist, durch Aufwindung eines Theils seines Bogens zu einer ebenen Spirale, im Verhältnisse 100 zu 33 geschwächt worden, und hat dadurch, dafs dieser Spirale eine zweite geschlossene Spirale nahe stand, wieder bis 81 zugenommen. Da die Wirkung der geschlossenen Spirale darin besteht, die Bildung eines Stromes vierter Ordnung in der tertiären Spirale zu erschweren, so zeigt der Erfolg des Versuches, dafs die Abhängigkeit des tertiären Stromes von der Form seines Bogens durch Rückwirkung des Stromes vierter Ordnung auf den tertiären Strom bewirkt wird.

893 Aenderung des Stromes vierter Ordnung. An dem Apparate des vorigen Paragraphs (Fig. 168.) wurde das Thermometer aus dem tertiären Bogen in den Bogen der vierten Ordnung versetzt, und in diesen wurden die beiden kleinen Inductionsscheiben hinter einander eingeschaltet, und entweder von einander entfernt, oder bis 1 Linie genähert, dabei aber in U- oder N verbindung gesetzt (§. 856.). Der Strom vierter Ordnung wurde durch das Thermometer gemessen.

	Spiralen aufser Wirkungsnähe	auf einander wirkend in U verbindung	N verbindung
Strom vierter Ordnung	0,43	0,57	0,31
Verhältnifs	100	133	72

Der Strom vierter Ordnung ist durch U verbindung zweier auf einander wirkenden Theile seines Bogens verstärkt, durch N verbindung dieser Theile geschwächt worden. Es gilt also für ihn in Bezug auf seine Abhängigkeit von der Form seines Bogens Dasselbe, was an den vorhergehenden Strömen nachgewiesen ist.

894 Aenderung des Stromes fünfter Ordnung. Da hier die gröfste Verstärkung vorgekommen ist, die überhaupt an einem Strome beobachtet wurde, so will ich die Versuche

genauer angeben. Haupt- und Nebenspirale (Fig. 169.) befanden sich auf dem Inductionscylinder, secundäre Hauptspirale und tertiäre Nebenspirale, ferner tertiäre Hauptspirale und Nebenspirale vierter Ordnung waren, 1 Linie von einander entfernte, grofse Inductionsscheiben, endlich die Hauptspirale vierter und die Nebenspirale fünfter Ordnung 1 Linie von einander entfernte kleine Inductionsscheiben (§. 823.). Der Bogen fünfter Ordnung, der das Thermometer enthielt, war durch einen 53 Fufs langen geraden Kupferdrath geschlossen, der dann mit der Utafel (§. 884.) vertauscht wurde. Es wurden drei Flaschen der Batterie benutzt. [894]

	Erwärmung im Bogen fünfter Ordnung. Einschaltung von 53 Fufs Kupferdrath	
Elektricitätsmenge	in gerader Form	als Utafel
10	3,5	7,3
12	4,5	10,2
15	6,7	14,8
17	8,3	19,2
20	10,8	25,2
Einheit der Ladung	0,09	0,20
Verhältnifs	100	222

Der Strom fünfter Ordnung ist durch Uform seines Bogens zu mehr als dem Doppelten gestärkt worden, so dafs die Rückwirkung des Stromes sechster Ordnung auf jenen nach demselben Gesetze, das die früheren Ströme befolgten, aufser Zweifel gesetzt ist. — Die Gröfse der Aenderung des Stromes rührt zum Theil daher, dafs sich eine Spirale von nur 13 Fufs Drathlänge (die kleine Inductionsscheibe) in dem Bogen fünfter Ordnung befand, und daher die der Formänderung unterworfene Drathlänge (53 Fufs) einen grofsen Theil des ganzen Bogens ausmachte.

Die Richtung der Nebenströme.

895 Aus gewissen Erscheinungen der galvanischen Ströme hat v. Wrede[1]) nach Analogie geschlossen, dafs der Nebenstrom der elektrischen Batterie aus zwei einander entgegengerich-

[1]) Berzelius Jahresbericht.* 20. 120.

[895] teten, gleich starken Strömen bestehe. Hiernach könnte von der Richtung eines Nebenstromes nicht die Rede sein, da jede Partialentladung des Hauptstromes zwei Ströme entgegengesetzter Richtung erregen würde. Die Erwägung indeſs, daſs eine gleiche Anzahl gleich starker Ströme entgegengesetzter Richtung, die während der so äuſserst kurzen Dauer eines Nebenstromes einander in einem Drathe begegnen, keine merkliche Wirkung hervorbringen, wie es die Versuche am Differential-Inductor zeigen, hat später veranlaſst, die einzelnen Ströme, aus welchen der Nebenstrom besteht, zwar von entgegengesetzter Richtung, aber von ungleicher Stärke anzunehmen. Hiernach würde der wirklich beobachtete Nebenstrom die Differenz von mehreren Strömen sein. Einem solchen Differenzstrome kommt aber eine eben so bestimmte Richtung zu, wie dem einfachen Strome, so daſs es hier gleichgültig ist, ob wir den Nebenstrom als einen einfachen Strom betrachten, dessen einzelne Partialentladungen in gleicher Richtung erfolgen, oder ob wir einem Theile dieser Entladungen eine verschiedene Stärke und verschiedene Richtung beizulegen gesonnen sind.

Die unzweideutigen empfindlichen Mittel zur Erkennung der Richtung eines Stromes, Ablenkung einer Magnetnadel und Zersetzung des Jodkalium, finden bei den Nebenströmen keine Anwendung, da von diesen weder chemische noch galvanometrische Wirkung zu erlangen ist. Schaltet man einen empfindlichen Multiplicator in den Nebenbogen ein, während der Hauptbogen durch eine Wassersäule unterbrochen ist, so bemerkt man bei der Entladung der Batterie ein Schwanken der Nadel, aber keinen deutlichen Ausschlag. Nicht besser ist der Erfolg bei dem Einschalten der Wassersäule in den Nebenbogen. Zur Prüfung der chemischen Wirksamkeit des Nebenstromes schaltete ich in den Nebenbogen einen Zersetzungsapparat (§. 610.) ein, dessen Spitzen auf einem mit Jodkalium genäſsten Papiere zwei Linien von einander entfernt standen. Bei einer gewissen Ladung der Batterie schlug in der Luft zwischen den Spitzen ein Funke über; wurde die Entfernung der Spitzen vergröſsert, so erschien unter jeder Spitze ein Lichtschimmer, und der Nebenstrom ging durch

das feuchte Papier über; aber weder in dem einen, noch in [895] dem anderen Falle, wurde eine elektrische Zersetzung des Jodkalium bemerkt. Wenn die Spitzen sehr weit auseinanderstanden, oder die Ladung der Batterie gering war, blieb der Lichtschimmer aus, ohne dafs eine Zersetzung eintrat. Der fehlende Erfolg in den beiderartigen Versuchen erklärt sich daraus, dafs zur Ablenkung der Nadel und zur Zersetzung einer Substanz der elektrische Strom eine nur geringe Geschwindigkeit besitzen darf (§. 609[a].). Im Hauptbogen ist diese Bedingung zu erfüllen durch Einschaltung eines schlecht leitenden Körpers, durch welchen der Strom zu gehen gezwungen ist. Im Nebenbogen haben die im Strome getrennten Elektricitäten zwei Wege, sich auszugleichen. Während sie bei voller Schliefsung des Nebenbogens einen Kreislauf vollenden, werden sie bei einem, zur Verzögerung ihrer Bewegung, im Bogen angebrachten Hindernisse in entgegengesetzter Richtung zurückgehen, als in welcher sie erregt wurden, und die Wirkung des Nebenstromes wird ausbleiben.

896 Man hat sich zur Erkennung der Richtung der Nebenströme nach anderen Mitteln, als den genannten, umsehen müssen, und diese in der Magnetisirung von Stahlnadeln, der Bildung von Staubfiguren, der Polarisirung einer Flüssigkeit und der Durchbohrung einer Karte (Lullin's Versuch) zu finden geglaubt. Diese Mittel geben positive Resultate, deren Deutung aber, wie ich zeigen werde, nicht unzweifelhaft bleibt. Die Magnetisirung von Stahlnadeln, obgleich sie häufig gebraucht worden ist, werde ich nicht berücksichtigen, da sie am Hauptstrome kein verläfsliches Mittel zur Erkennung der Richtung abgiebt. Wollte man nach der Lage des Nordpols an einer, durch den Hauptstrom magnetisirten, Nadel die Richtung des Stromes beurtheilen, so kann, nach früher mitgetheilten Erfahrungen (§. 521 flg.), leicht der Fall eintreten, dafs der Beobachter die Batterie mit negativer Elektricität geladen annehmen müfste, die er so eben mit positiver geladen hat. Hier lehrt der Augenschein das Widersinnige des Schlusses, der nicht bündiger wird in Fällen, wo der Augenschein fehlt, wie bei den Nebenströmen.

Ich werde in dem Folgenden die Richtung der Neben-

[896] ströme auf die Richtung des Hauptstromes beziehen. Um Undeutlichkeit zu vermeiden, die durch die zufällige Verbindung der angewandten Spiralen entstehen kann, denke man sich bei der Vergleichung der Richtung zweier, von einander entfernten, Ströme die dazwischenliegenden Ströme hinzu, und vergleiche einzeln je zwei auf einander folgende Ströme, wobei kein Irrthum möglich ist, da die einander nahe stehenden Spiralen parallel laufen. Der tertiäre Strom habe die Richtung des Hauptstromes, besagt hiernach, seine Richtung sei so, als ob der tertiäre Strom dem secundären, und dieser dem Hauptstrome gleichgerichtet wäre. In Fig. 169 zeigen die Pfeile die Richtung von 4 Nebenströmen an, die dem Hauptstrome gleichgerichtet sind.

897 Aus der Abhängigkeit der Ströme erster bis fünfter Ordnung von der Form ihrer Schliefsung ist ein wichtiges Gesetz über die Richtung der Ströme abzuleiten, das theils die Richtung einiger Ströme bestimmt angiebt, theils die Mittel prüfen läfst, die man zur Untersuchung der Richtung der übrigen Ströme anwenden will. — Es ist nachgewiesen worden (§. 888.), dafs die Aenderung jedes Stromes durch veränderte Form seines Bogens herrührt von der Erregung eines Nebenstromes in der Masse des Bogens. Die Richtung dieses Stromes in dem erregten Theile des Bogens, der dem erregenden parallel läuft, ist offenbar unabhängig von der Form des Bogens; da aber der erregte, wie der erregende Strom, sich weiter verbreitet, so hängt es von der Biegung des Bogens ab, ob beide Ströme sich mit gleicher oder entgegengesetzter Richtung treffen. Welche auch die Richtung des Nebenstromes in einem, in N- oder Uform gelegten, Bogen sein mag, so ist es klar, dafs wenn in der einen Form Haupt- und Nebenstrom einander gleichlaufend begegnen, sie in der anderen Form einander entgegenlaufen werden. Von dieser Alternative hängt aber die Aenderung des erregenden Stromes ab, die bei der einen Form des Bogens in einer Schwächung, bei der anderen in einer Verstärkung besteht, und es folgt daher nothwendig, dafs eine bestimmte Aenderung bei bestimmter Form auch eine bestimmte Richtung des erregten Stromes gegen den erregenden beweist. Ueberall wo z. B. die Uform des

Bogens die Stärkung des Stromes bewirkt, ist zu schliefsen, [897] dafs der, von diesem Strom erregte, Nebenstrom gegen ihn eine und dieselbe Richtung besitzt. Nun haben wir gesehen, dafs Dies bei allen, im Vorhergehenden untersuchten, Strömen der Fall ist, und es ist damit bewiesen, dafs die *Richtung jedes der untersuchten Nebenströme gegen den ihn erregenden Strom eine und dieselbe ist.* Der secundäre Strom mag dem Hauptstrome gleichgerichtet sein, oder ihm entgegenlaufen, so folgt, dafs der tertiäre Strom mit dem Hauptstrome gleiche Richtung hat. Dasselbe mufs für den Strom fünfter Ordnung gelten. Wir sind also zu der Bestimmung gekommen, dafs die Ströme dritter und fünfter Ordnung dem Hauptstrome gleichgerichtet sind, und die Ströme zweiter und vierter Ordnung eine unter sich gleiche Richtung haben.

Zur Kenntnifs der Richtung aller Nebenströme ist es 898 demnach nöthig, die Richtung des secundären Stromes zu kennen. Diese ist in verschiedener Weise untersucht worden.

Untersuchung mittels Staubfiguren und des Condensators. Ich stellte zwischen die Enden *m* und *r* (Fig. 170.) einer unterbrochenen Nebenschliefsung eine, auf beiden Flächen mit Pech überzogene, Kupferplatte, wie zur Bildung der Staubfiguren gebraucht worden ist (§. 743.). Als die Pechflächen nach der Entladung der Batterie mit einem Gemenge von Schwefel und Mennige bestäubt wurden, erschienen zwei von einander unterschiedene Staubfiguren; an der Fläche, die an *m* angelegen hatte, eine rothe Scheibe, die von einem gelben Strahlenkranze eingefafst war, auf der Fläche an *r* ein rother Ring, der gelbe krause Zeichnungen umgab. Es mag die erste Figur *Strahlenfigur,* die zweite *Ringfigur* heifsen. Die Stellung der Figuren gegen die Belegungen der Batterie blieb bei allen Versuchen constant, indem die Strahlenfigur stets der, mit positiver Elektricität geladenen, Belegung zunächst stand. Statt der Pechplatte wurde ein Condensator angewendet, der aus dreizölligen, durch eine Glimmer- oder Glasplatte getrennten, Messingscheiben bestand. Sollte die Elektricität des Endes *m* gesammelt werden, so verband ich das Ende *r* mit der Condensatorscheibe, die eine vollkommene Ableitung zur Erde erhielt, und brachte das Ende *m* einer kleinen Kugel

[898] nahe, die mit der Collectorplatte durch einen Drath verbunden war. Die Entfernung des Endes *m* von der Kugel mufste so regulirt werden, dafs zwischen beiden, bei der Entladung der Batterie durch die Hauptspirale, ein kleiner bläulicher Funke überging. War die Entfernung zu klein, so erschien ein sehr glänzender, war sie zu grofs, kein Funke; in beiden Fällen blieb die Ladung der Collectorplatte aus. Man kann den Versuch durch Einschaltung des Funkenmikrometers (§. 330.) bequemer machen, dessen Kugeln mit dem Ende *m* der Nebenspirale und der Collectorplatte verbunden werden. Nachdem der Funke übergegangen war, wurde die Collectorplatte abgehoben und an einem Elektroskope geprüft.

899 Ich benutzte zur Erregung des Hauptstromes 5 Flaschen der Batterie, die mit verschiedenen Elektricitätsmengen geladen wurden. Es wurde von dem Ende *m* der Nebenspirale (Fig. 170.) negative, von dem Ende *r* positive Elektricität im Condensator gesammelt, so dafs die Strahlenfigur ein Zeichen der negativen, die Ringfigur ein Zeichen der positiven Elektricität des Nebenstromes abzugeben schien. Es war demnach zu schliefsen, dafs der secundäre Strom, wenn er vollständig war, in der Richtung von der Ringfigur zur Strahlenfigur gehen würde, also, wie ein Blick auf die Figur lehrt, dem Hauptstrom gleichgerichtet war. Allein die Versuche am Condensator blieben nicht constant. Es kamen nicht selten Fälle vor, in welchen von demselben Ende des Nebendrathes, bei identischen Versuchen, bald die eine, bald die andere Elektricitätsart abgegeben wurde [1]). Da die Lage der Staubfiguren niemals wechselte, so wurde der Zweifel rege, ob diese in der That die Richtung des secundären Stromes angeben, und dieser Zweifel bestätigte sich, als die Figuren zur Bestimmung der Richtung des tertiären Stromes gebraucht wurden. Eine Pechplatte war in die Lücke eines tertiären Bogens, zwischen *m'* und *r'* (Fig. 171.), gestellt worden, die Strahlenfigur wurde an dem Ende *m'*, die Ringfigur an *r'* erhalten. Hiernach würde der tertiäre Strom, wenn der Bogen voll ist,

---

[1]) Repertor. d. Physik.* 6. 283.

in der Richtung von r' nach m' gehen, also dem Hauptstrom [899] entgegenlaufen, was nach §. 897 erweislich falsch ist.

900 Der Grund der, der Richtung des tertiären Stromes widersprechenden, Angaben am Condensator und bei den Staubfiguren ist leicht aufzufinden. Wir haben gesehen (§. 829.), dafs in der secundären Schliefsung die *Seitenentladung* gleichzeitig mit dem Nebenstrome auftritt. Dasselbe ist für die tertiäre Schliefsung aufzuzeigen. Es wurden 4 ebene Spiralen von 53 Fufs Drathlänge gebraucht. Die secundäre Nebenspirale war an dem Ende, das dem Innern der Batterie zunächst lag, durch einen Drath mit der secundären Hauptspirale verbunden; von dem entsprechenden Ende der tertiären Nebenspirale wurde ein Drath zu einer Kugel des Funkenmikrometers geführt, und an der zweiten Kugel ein isolirter 53 Fufs langer Drath befestigt (Fig. 172.). Bei dieser Anordnung wurde die Schlagweite im tertiären Drathe untersucht. Zur Untersuchung der Schlagweite im secundären Drathe wurde das Funkenmikrometer an die Stelle mr gesetzt, und seine frühere Stelle durch einen kurzen Drath ausgefüllt. Es wurden drei Flaschen der Batterie benutzt.

Schlagweiten im secundären Bogen

Schlagweite x	Elektricitätsmenge beobachtet q	berechnet.	$(q = b\sqrt{x})$ b
0,1 Linie	6	5,5	
0,2	8	7,8	
0,4	10	11	
0,6	13	13,4	
0,8	15	15,5	
1,0	18	17,4	17,4
	im tertiären Bogen		
0,1	6	6,0	
0,2	9	8,4	
0,4	12	11,9	
0,6	14	14,5	
0,8	16	16,8	
1,0	19	18,8	18,8

Als die Dräthe statt an den, dem Inneren der Batterie nächsten, Enden der Spiralen, an den entferntesten Enden befestigt waren (in Fig. 172 an c und d), wurde im tertiären Bogen bei der Elektricitätsmenge 24 noch nicht eine Schlag-

[900] weite von 0,1 Lin. erreicht. Diese Versuche zeigen die Seitenentladung und ihre Gesetze auf das Bestimmteste. Der Drath *mref* ist als ein vom Stamme getrennter Ast (§. 797.) zu betrachten, der noch einmal bei *e* unterbrochen ist. Die Gesetze der Seitenentladung haben durch diese Unterbrechung keine Aenderung erfahren.

901 Es ist klar, dafs bei den Versuchen mit dem Condensator und den Staubfiguren (§. 898.) zugleich mit dem Nebenstrome die Seitenentladung wirksam ist. Die Richtung der Seitenentladung ist stets durch die Ladung der Batterie gegeben, und ging in den aufgeführten Versuchen, wo die Batterie mit positiver Elektricität geladen war, von *m* nach *r*, von *m'* nach *r'* (Fig. 171.). Der Strahlenkranz der Staubfigur, der der positiven Elektricität zugehört, wurde deshalb an *m* und *m'* gebildet. Wenn der Nebenbogen voll ist, so übertrifft der Nebenstrom den Seitenstrom in bedeutendem Maafse an Stärke. Es ist mit der Seitenentladung allein, auch bei den stärksten Ladungen der Batterie, keine Erwärmung des Thermometers zu erlangen, die der Nebenstrom so leicht liefert. Ist hingegen der Nebenbogen unterbrochen, so sind Nebenstrom und Seitenstrom an Stärke nahe gleich, und hierin können die verschiedenen Ladungen, die der Condensator von demselben Ende der Nebenschliefsung erhält (§. 899.), ihre Erklärung finden. Man könnte daraus, dafs der Condensator an *m* (Fig. 170.) nicht immer positive Elektricität, die der Seitenentladung entspricht, sondern auch negative Elektricität erhält, den Schlufs wagen, dafs der secundäre Strom der Seitenentladung im secundären Bogen entgegenläuft, wodurch die gleiche Richtung des secundären Stromes und des Hauptstromes aufgezeigt wäre. Doch ist dieser Schlufs nicht bündig, da der Condensator auch bei Anbringung nur Einer Elektricitätsart Zeichen entgegengesetzter Elektricität geben kann (§. 344.).

902 Untersuchung der Richtung der Nebenströme durch Lullin's Versuch. Ein zwischen zwei Spitzen des Schliefsungsbogens der Batterie eingeschaltetes Kartenblatt wird, nach Lullin's Entdeckung, an der Spitze durchbohrt, die mit der negativen Belegung der Batterie in Verbindung

steht, und Pictet hat vorgeschlagen, diesen Versuch zur Bestimmung der Richtung eines Stromes anzuwenden (§. 554.). Matteucci versuchte diese Bestimmungsart zur Erkennung der Richtung der Nebenströme [1]. Dafs sie dazu nicht brauchbar sei, zeigen die folgenden Versuche. Ich richtete drei Nebenschliefsungen vor (Fig. 173.), von welchen jede in einem einzelnen Versuche an einer Stelle *ab* unterbrochen wurde. Die Lücke wurde durch ein Papier ausgefüllt, auf dessen entgegengesetzte Flächen zwei Stanniolstreifen geklebt waren, deren Spitzen etwa 1½ Linie von einander standen. Das Papier wurde, in welchem der drei Schliefsungsbogen es sich auch befinden mochte, bei der Entladung der Batterie an der, mit dem Ende *b* verbundenen, Stanniolspitze durchbohrt, welches Ende dadurch als das negative bezeichnet wurde. In der That ist *b* die Spitze, nach welcher hin der Seitenstrom gerichtet ist. Als je zwei zu einer Schliefsung gehörige Spiralen nur durch einen Drath an der Seite, die dem Inneren der Batterie zunächst lag, verbunden waren (Fig 174.), erschien bei stärkeren Ladungen der Batterie, als den früher gebrauchten, auf dem Papiere bei *b* ein kleiner Funke, ohne das Papier sichtlich zu verletzen. Obgleich daher die Seitenentladung für sich nicht stark genug war, das Papier zu verletzen, so bestimmte sie doch die Stelle, an welcher der Nebenstrom es durchbohrte. Es wird also durch die obigen Versuche nicht die Richtung der Nebenströme, sondern die, auch sonst bekannte, Richtung des Seitenstromes angezeigt. Diese Versuche geben übrigens ein merkwürdiges Corollar zu dem Satze, nach welchem ein Nebenstrom eine Lücke in seiner Schliefsung nur nach dem Vorangehen einer Seitenentladung durchbrechen kann (§. 832.). [902]

903 Untersuchung der Richtung der Nebenströme durch Polarisation. Die Durchführung des Hauptstromes durch eine zersetzbare Flüssigkeit polarisirt die Dräthe, welche den Strom in die Flüssigkeit leiten, das heifst, die in der Flüssigkeit stehenden Dräthe lenken die Magnetnadel eines Multiplicators, mit dem sie gleich nach der Entladung ver-

[1]) *De la Rive archives de l'électr.** 1. 141.

[903] bunden werden, in einem bestimmten Sinne ab (§. 598.). War die Batterie mit der Einen Elektricitätsart geladen, so weicht die Nadel nach einer Seite ab, und nach der anderen bei Ladung der Batterie mit der entgegengesetzten Elektricitätsart. Man kann daher aus der Ablenkung der Nadel die Richtung des Entladungsstromes bestimmen. Verdet[1]) hat diesen Versuch zur Erkennung der Richtung der Nebenströme in folgender Weise benutzt. Es wurde eine ebene auf einer Glastafel befestigte Hauptspirale, die aus 24 Windungen eines 86 Fuſs langen, 0,66 Linie dicken Kupferdrathes bestand, und eine ebene Nebenspirale gebraucht, die 90 Windungen eines 147 Fuſs langen, 0,22 Linie dicken Kupferdrathes enthielt. Beide Spiralen hatten einen gleichen Durchmesser von nahe 9 Zoll. Die angewandte Batterie bestand aus 9 Flaschen, jede von $1\frac{1}{5}$ Quadratfuſs belegter Oberfläche. Die Enden der Nebenspirale wurden in, mit Quecksilber gefüllte, Näpfe geführt, in welche zugleich zwei Platindräthe tauchten, deren Enden in einer Uförmigen, mit Jodkaliumlösung gefüllten, Röhre standen. Der secundäre Bogen war also durch die Quecksilbernäpfe, die Platindräthe und die Flüssigkeitssäule vollständig geschlossen. Nachdem sich der secundäre Strom durch Entladung der Batterie gebildet hatte, wurden die Enden der Nebenspirale aus dem Quecksilber gezogen, und dafür die Drathenden eines sehr empfindlichen Multiplicators hineingetaucht, wonach die Bewegung der Magnetnadel die Polarisirung der Platindräthe beurtheilen lieſs. Aber bei dieser Einrichtung war die Polarisirung nur nach sehr starken Ladungen der Batterie zu erhalten, und bewirkte nur eine Ablenkung der Nadel von 2 bis 3 Grad. Als hingegen an einer Stelle des secundären Bogens eine Lücke gelassen war, die der Nebenstrom mit einem Funken überspringen muſste, gelang es, mit mäſsigen Ladungen der Batterie bedeutende Ablenkungen der Nadel zu erhalten. Diese Ablenkungen waren jedoch bei gleichen Ladungen der Batterie wandelbar, sowol ihrer Stärke als der Richtung nach, und fanden sich abhängig von der Form und Entfernung der Leiter, zwischen welchen der Funke des Nebenstromes überging.

[1]) *Annales de chim.* 3 *sér.** 24. 377.

904 Diese Unregelmäſsigkeiten konnten fast ganz vermieden werden, wenn im secundären Bogen zwei Unterbrechungen, durch eine Metallspitze und eine Quecksilberfläche, in der Art gebildet waren, daſs der Nebenstrom in der einen Lücke von der Spitze zum Quecksilber, in der anderen vom Quecksilber zur Spitze überspringen muſste. Zur Regulirung der Entfernung der Spitzen vom Quecksilber waren die Spitzen an den Enden von Mikrometerschrauben angebracht. Mit dieser Anordnung wurden Ablenkungen der Nadel des Multiplicators nach einer bestimmten Richtung erhalten, die in die entgegengesetzte überging, wenn die Elektricitätsart geändert wurde, mit der die Batterie geladen war. Aus der Richtung der Ablenkung schien zu folgen, daſs der secundäre Strom mit dem Hauptstrome gleiche Richtung hat. — Es kann diesem Resultate der an sich interessanten Versuche keine volle Beweiskraft zugestanden werden. Dies geht schon aus den bei voller Nebenschlieſsung wandelbaren Ablenkungen und den, zu dem Gelingen des Versuches nöthigen, Bedingungen hervor, deren Bedeutung nicht klar ist, und wird bewiesen durch die Untersuchung der Richtung des tertiären Stromes. Diesem hat Verdet, nach der Polarisirung, eine dem Hauptstrome entgegengesetzte Richtung zugeschrieben, was dem Gesetze des §. 897 widerspricht.

905 Richtung des secundären Stromes. Die directen Versuche haben es zwar wahrscheinlich gemacht, aber nicht unwiderleglich dargethan, daſs der secundäre Strom mit dem Hauptstrome gleiche Richtung besitzt. Eine theoretische Betrachtung unterstützt diese Annahme. Wir haben gesehen, daſs der Hauptstrom durch Uform seines Bogens gestärkt, durch Nform geschwächt, und dieser Erfolg durch einen, im Schlieſsungsbogen selbst erregten, secundären Strom herbeigeführt wird. Die Wirkung des secundären Stromes auf den Hauptstrom ist zwiefach: aus der Ferne, indem der in dem einen Schenkel des Bogens erregte Strom auf den Hauptstrom im andern Schenkel wirkt, und in unmittelbarer Nähe, indem der secundäre Strom auf den Hauptstrom wirkt, der sich mit ihm in demselben Schenkel bewegt. Es ist klar, daſs die zweite Wirkung die bei Weitem stärkere ist, und allein

[905] den Unterschied zwischen der U- und Nform bedingt, da die Wirkung in die Ferne bei beiden Formen gleichen Erfolg haben mufs. Der Hauptstrom läfst sich aber noch in anderer Weise, als durch die Nform seines Bogens, und zwar in nicht geringerem Maafse schwächen, nämlich dadurch, dafs ein zweiter Drath dem Hauptdrathe parallel gelegt und in passender Weise geschlossen wird. In diesem Nebendrathe tritt ein secundärer Strom auf, der in dem Hauptdrathe einen tertiären Strom erregt. Auch hier finden zwei Wirkungen statt, eine aus der Ferne von dem secundären Strome auf den Hauptdrath, und eine in unmittelbarer Nähe, ausgeübt von dem tertiären Strome auf den Hauptstrom, der mit ihm in dem Hauptdrathe fliefst. Bei der grofsen Schwächung des Hauptstromes, die in dieser Weise erhalten werden kann (von 100 bis 14; §. 850.), ist eine grofse Wahrscheinlichkeit dafür vorhanden, dafs der tertiäre Strom an dieser Schwächung Antheil hat. Der tertiäre Strom ist aber nach §. 897 mit dem Hauptstrome von gleicher Richtung, und es folgt daraus, dafs ein tertiärer Strom, der mit dem Hauptstrome in einem Drathe in derselben Richtung fliefst, diesen Strom schwächt. Läfst man diesen Satz, der durch die Erfahrung gestützt wird, dafs zwei gleichlaufende Ströme einander anziehen (§. 541.), auch für den secundären Strom gelten, so folgt aus der Schwächung des Hauptstromes durch die Nform seines Bogens die gleiche Richtung des secundären Stromes mit dem Hauptstrome. Eine Vergleichung der Nform mit der Uform und der davon abhängigen Aenderung eines Stromes irgend einer Ordnung führt dann zu dem allgemeinen Satze: *Wenn in einem Drathe ein elektrischer Strom sich zugleich mit einem von ihm erregten Nebenstrome bewegt, so wird der Strom verstärkt, wenn beide Ströme in entgegengesetzter, und geschwächt, wenn sie in gleicher Richtung fliefsen.*

906 Dieser Satz, der nur als hypothetisch gelten kann, hat keinerlei Erfahrung gegen sich. Dafs zwei Ströme gleicher Richtung, die in demselben Drathe fliefsen, einander verstärken, ungleicher Richtung einander schwächen, ist allein von Strömen derselben Ordnung aufgezeigt worden, und aus der Betrachtung der in beiden Strömen bewegten Elektricitätsmengen

erklärlich. Dafs bei den Versuchen §. 905 die in dem Neben- [906] strome erregte Elektricitätsmenge nicht in Betracht kommen könne, und die Entladungszeit des veränderten Stromes allein den Erfolg herbeiführen kann, geht aus der Erscheinung eines Maximum der Schwächung durch Verlängerung einer Nebenschliefsung unwiderleglich hervor. Wollte man annehmen, dafs die Entladungszeit eines Stromes durch die Nähe eines ihm entgegenlaufenden Stromes verlängert würde, so wäre dies nicht mit der Erfahrung zu vereinigen, nach welcher zwei Ströme entgegengesetzter Richtung einander abstofsen. Eine gleiche Richtung des secundären Stromes mit dem Hauptstrome wird durch directe Versuche über die Richtung nirgends widerlegt, da in der Seitenentladung der Grund aufgefunden ist, weshalb jene Versuche die Richtung eines Nebenstromes nicht unzweideutig angeben. Was hier von den Strömen zweiter bis fünfter Ordnung dargelegt worden ist, läfst sich ohne Bedenken auch auf höhere Ordnungen ausdehnen, so dafs das Endresultat dieser Untersuchung auszusprechen ist: *Es ist ausgemacht, dafs die Ströme dritter, fünfter und überhaupt ungerader Ordnung dem Hauptstrome gleichgerichtet sind, und dafs die Ströme zweiter, vierter und überhaupt gerader Ordnung eine unter sich gleiche Richtung haben. Wahrscheinlich ist auch diese letzte Richtung der des Hauptstromes gleich, so dafs alle Ströme höherer Ordnung dem Hauptstrome gleichgerichtet sind.*

Fünfter Abschnitt.

Die Erregung der Elektricität.



Einleitung.

In dem vorliegenden Abschnitte sollen die Bedingungen angegeben werden, welchen die Körper zu unterwerfen sind, um elektrisch zu werden, unter der Voraussetzung, daſs kein bereits elektrisirter Körper dabei mitwirke. Die Elektrisirung durch die Nähe eines elektrisirten Körpers, die Influenz, ist bereits früher abgehandelt worden, und liegt der ganzen Elektricitätslehre zu Grunde. Die elektrische Erregung eines Körpers wird nach der Wirkung beurtheilt, die er auf ein Prüfungsinstrument ausübt; es ist also nöthig, daſs der erregte Körper seine Elektricität bis zur Prüfung behalte, eine Zeit hindurch, die auſserordentlich groſs ist, in Vergleich mit der, in welcher die erregte Elektricität sich entladen kann. Was unter Erregung im empirischen Sinne verstanden wird, begreift also zwei völlig verschiedene Momente, nämlich das Freimachen einer gewissen Elektricitätsmenge auf der Flächeneinheit eines Körpers, und die Erhaltung eines Theiles dieser Menge bis zum Augenblicke der Prüfung. Je gröſser entweder die wirkliche Erregung, oder je gröſser der Theil ist, der von der erregten Menge erhalten wird, desto stärker wird die beobachtete Erregung gefunden werden. Es ist nicht möglich gewesen, diese beiden Ursachen der Gröſse des Erfolges von einander zu trennen, und wir müssen uns daher auf scheinbare Erregungen beschränken, die muthmaſslich eine ganz andere Ordnung befolgen, als die wirklichen. So ist es wahrschein-

907

[907] lich, daſs die Erregungsart, die als die kräftigste vorangestellt wird, die Reibung, nur eine der schwächeren, und dagegen die chemische Aenderung des Körpers, die jener weit nachzustehen scheint, in der That eine der stärksten Erregungsarten ist. Diese Unsicherheit bei der Beurtheilung der Wirksamkeit der einzelnen Erregungsarten hat verhindert, die nur mittelbar wirkenden von den unmittelbaren Ursachen zu trennen, hierdurch die Uebersicht zu vereinfachen, und dem Acte der Erregung selbst näher zu treten.

908 Der groſse Einfluſs, den die Fortleitung der Elektricität auf die beobachtete Erregung äuſsert, bringt nicht nur Unsicherheit in die Gesammtheit der Klassen der Erregung, sondern in jede Klasse, und selbst in jeden einzelnen Versuch. Nirgends in der Elektricitätslehre ist der Erfolg eines Versuches so wandelbar, wie hier, nirgends Maaſs und Zahl weniger anwendbar. Ein täglich vorliegendes Beispiel giebt die Elektrisirmaschine, die der Beobachter, unter scheinbar gleichen Umständen bald stärker, bald schwächer wirken zu sehen, gewohnt ist. Der Grund hiervon ist leicht anzugeben. Die elektrische Leitung findet auf Flächen statt, und identische Versuche verlangen eine durchaus gleiche Beschaffenheit der angewandten Flächen, die längere Zeit hindurch zu erhalten, unmöglich ist. Wir haben gesehen (§§. 26. 757.), daſs alle Flächen einer steten Aenderung durch die Atmosphäre ausgesetzt sind, und hierzu kommt noch die Aenderung, welche die Elektricitätserregung selbst an ihnen hervorbringt. Der Beobachter kann sich zwar vergewissern, daſs er zu verschiedenen Zeiten mit demselben Stoffe arbeitet, nicht aber, daſs er Flächen von genau gleicher Beschaffenheit vor sich hat. Von welchem geringen, der Beobachtung gänzlich entzogenen, Unterschiede der Oberflächenbeschaffenheit der Erfolg einer Erregung abhängt, wird später gezeigt werden. Trotz vielfacher Bemühung sind deshalb sicher festgestellte Resultate der elektrischen Erregung nur in geringer Zahl vorhanden, und es hat kein Theil der Elektricitätslehre so geringen Antheil, wie der vorliegende, an den Fortschritten erhalten, die in der Lehre in neuester Zeit gemacht worden sind. Um so strenger müssen wir uns an das folgende, schon vor langer

Zeit gewonnene, Gesetz halten, das für alle Klassen der elektrischen Erregung gilt. [908]

909 Gleichzeitige Erregung beider Elektricitätsarten. Es ist gezeigt worden (§. 162.), dafs bei der Erregung der Elektricität durch Influenz in dem erregten Körper stets beide Elektricitätsarten gleichzeitig auftreten. Hierdurch entstand folgerichtig die Vorstellung, dafs jeder neutrale Körper beide Elektricitätsarten in gleicher Menge besitzt, und die Influenz in einer räumlichen Trennung dieser beiden Arten besteht. Wie man sich nun auch die Erregung ohne Influenz denken mag, so wird sie in der Entziehung der Einen Elektricitätsart des Körpers bestehen müssen, die nur durch Hinzuführung der entgegengesetzten Elektricitätsart geschehen kann. Es wird daher bei jeder Erregung die Neutralisirung zweier Portionen entgegengesetzter Elektricität eintreten, nach welcher zwei Portionen entgegengesetzter Elektricität übrig bleiben, die, wenn sie sich nicht sogleich wieder vereinigen, einzeln merkbar werden müssen. *Bei der elektrischen Erregung treten stets beide Elektricitätsarten auf.* Dies ist der Satz, den zuerst Wilcke[1]) im Jahre 1758 ausgesprochen, und der so viele Bestätigungen erhalten hat, dafs die wenigen Fälle, die sich ihm nicht anschliefsen, nur als scheinbare Ausnahmen betrachtet werden können. Mir sind drei solche Fälle bekannt. Als Bergman[2]) die Kiele von zwei rohen (ihrer Oberhaut nicht beraubten) Gänsefedern an einander rieb, fand er beide positiv elektrisch. Der Versuch gelang nur an wenigen Exemplaren, und selbst an diesen nicht nach öfterer Wiederholung. Beim Zerbrechen einer Siegellackstange fand Lichtenberg[3]) öfter beide Bruchflächen negativ elektrisch. Faraday[4]) legte zwei Flanellstreifen quer über einander, und rieb sie; in einigen Fällen zeigten beide Streifen negative Elektricität. — Es ist zu vermuthen, dafs in diesen Beispielen der Erregung nur Einer Elektricität die entgegengesetzte Art auf einem Theile der Oberfläche der Körper erregt worden

[1]) Franklin's Briefe übers. von Wilcke Leipz. 1758.* 272.
[2]) *Bergman opuscula physica. Lips.* 1788.* 5. 372.
[3]) Erxleben Physik. 1794.* 476.
[4]) *Exper. research.* al.* 2142.

[909] ist, der sehr dünn, durch das Reiben abgelöst und entfernt wurde. Diese Ausnahmen von dem Gesetze sind nur bei der Reibung identischer Körper, noch niemals bei ungleichartigen Körpern bemerkt worden. Bei den letzteren kann man sich auf die Untersuchung der Elektricitätsart des einen der geriebenen Körper beschränken, und daraus auf die Elektricitätsart des andern Körpers mit Sicherheit schliefsen.

Erstes Kapitel.

Elektricitätserregung durch Reibung.

Reibung gleichartiger Stoffe.

910 Bei der gegenseitigen Reibung von zwei einander berührenden Flächen, unterscheidet man eine rollende und eine gleitende Reibung. *Rollend* heifst die Reibung, wenn jeder Punkt der einen Fläche von einem Punkte der andern Fläche berührt, und dann von diesem getrennt wird, nach der Trennung aber nicht mit einem neuen Punkte in Berührung kommt, *gleitend*, wenn das Letztere geschieht. Zwei mit parallelen Axen über einander gelegte Walzen erfahren bei der Umdrehung, wenn beide Walzen beweglich sind, die rollende Reibung; die gleitende, wenn eine von ihnen festgestellt worden ist. In der Folge ist überall, wo nicht das Gegentheil gesagt ist, unter Reibung die gleitende Reibung zu verstehen. Zur Elektricitätserregung werden zumeist Flächen ungleicher Gröfse an einander gerieben, wobei die kleinere Fläche mit verschiedenen Theilen der gröfseren zur Reibung kommt, und die Flächeneinheit an ihr einer länger dauernden Reibung ausgesetzt ist, als die Flächeneinheit der gröfseren. Es soll dann die kleinere Fläche die *reibende* (der Reiber), die gröfsere die *geriebene* Fläche genannt werden. Ob der Reiber fest

steht, und an ihm die geriebene Fläche vorbeigeführt wird, [910] wie an der Elektrisirmaschine, oder ob der Reiber über die feststehende Fläche fortgeführt wird, wie bei dem Reiben eines Körpers mit der Hand, ist gleichgültig. Unter *centraler* Reibung versteht man die Reibung, die zwei gleich grofse Flächen erleiden, bei Bewegung der einen Fläche um eine gemeinschaftliche Axe, wobei die Flächeneinheit jeder Fläche gleiche Reibung erfährt, und daher von keinem Reiber die Rede ist. — Jede Reibung entwickelt auf den dabei gebrauchten Flächen entgegengesetzte Elektricitäten, die sich an der Berührungsfläche beider wieder vereinigen können. Die Vereinigung erfolgt sehr leicht, wenn beide Flächen gut leitend sind, so dafs zu einer merklichen Erregung wenigstens Eine nicht vollkommen leitende Fläche verlangt wird. Dafs die Flächen durch keine, auch noch so dünne, Wasserschicht getrennt sein dürfen, ist einleuchtend.

Reibung vollkommen gleicher Körper. Theilt 911 man einen durchweg gleichartigen Körper in zwei Theile, und reibt diese an einander, so wird Elektricität entwickelt. Der Körper darf nicht gut leitend sein (§. 910.), also kein Metall, in welchem Falle keine Spur von Elektricität bisher nachgewiesen werden konnte. Mit Harz, Glas, Flanell, Pelzwerk, Seidenzeug, Sammt, Federkiel, Kork, läfst sich der Versuch leicht anstellen, und man überzeugt sich am Säulenelektroskope, dafs das eine der geriebenen Stücke positiv, das andere negativ elektrisch ist. Selten kommen beide Elektricitäten an demselben Stücke vor, wie dies Bergman bei Reibung zweier Glasstreifen (§. 913.), Faraday[1]) an zwei Flanellstreifen bemerkt hat. Ob bei regelmäfsig ausgeführter Reibung die Elektricitätsarten den beiden angewandten Stücken in bestimmter Weise zugetheilt werden, darüber sind mehrfache Versuche angestellt worden. Bei centraler Reibung zweier Scheiben ist kein Grund vorhanden, weshalb die eine Scheibe nur positiv, die andere nur negativ sein sollte. In der That hat Aepinus[2]) bei centraler Reibung von Glas- oder Schwefelscheiben, oder von Scheiben

[1]) *Exper. research.** al. 2142.
[2]) *Tentamen theoriae electr.** 65.

[911] aus anderem Stoffe nicht angemerkt, daſs eine bestimmte Scheibe vorzugsweise eine bestimmte Elektricitätsart angenommen habe. Beccaria[1]) giebt zwar an, daſs bei central geriebenen Glasscheiben die eine stets negativ elektrisch geworden, da diese Scheibe aber auf der andern Reifen einriſs, so kann sie nicht als dieser gleichartig angesehen werden.

912 Ist die Reibung nicht central, wird also eine Fläche mehr als die andere gerieben, so wäre es möglich und ist auch behauptet worden, daſs der Reiber eine bestimmte Elektricitätsart erhält. Aber theils wird nicht dieselbe Elektricitätsart für Reiber von verschiedenen Stoffen angegeben, theils habe ich selbst bei einem und demselben Stoffe zu keinem constanten Resultate kommen können, so daſs die Richtigkeit jener Behauptung noch bezweifelt werden muſs. Als ich Glas, Siegellack, Federkiel zu diesem Versuche gebrauchte, erhielt ich den Reiber bald positiv, bald negativ, und zwar bei Versuchen, die scheinbar vollkommen identisch waren. Freilich ist der Versuch nicht so einfach, als er scheinen möchte. Die angewandten Stoffe müssen vollkommen unelektrisch sein. Will man daher nicht eine Prüfung von der nächsten durch eine stundenlange Zwischenzeit trennen, so muſs man die Körper durch Bestreichen mit einer Flamme unelektrisch machen. Hierbei wird die Oberfläche der Körper und damit die Elektricitätserregung geändert, wie wir weiter unten (§. 927.) an dem Glase sehen werden. Ich habe zwar die Flamme bei allen Versuchen angewendet, möchte jedoch die Wandelbarkeit der Resultate nicht ihrem Einflusse allein zuschreiben, sondern auch der Aenderung der Oberfläche durch die Reibung selbst. Den folgenden Resultaten darf in keinem Falle die allgemeine Gültigkeit zugestanden werden, die ihnen beigelegt worden ist.

913 Bergman[2]) legte zwei Streifen aus Spiegelglas, 84 Lin. lang, 18 breit, 1 Lin. dick, in Form eines Kreuzes über einander (Fig. 175.), und zog den oberen Streifen mit gelindem Drucke wiederholt über dieselbe Stelle des unteren Streifens. Hier war der untere Streifen der Reiber (§. 910.), da von ihm

---

[1]) *Elettricism. artific.** 62.
[2]) *Acta acad. suec.* 1765. *Bergman opuscula. Lips.* 1788.* 5. 370.

nur ein quadratisches Stück von 18 Lin. Seite gerieben wurde. [913]
In einem andern Versuche wurde die quadratische Stelle des oberen Streifens, die den unteren Streifen deckte, über die ganze Länge des letzteren gezogen, wobei der obere Streifen der Reiber war. Als die Streifen nach der Reibung getrennt und an einem Elektroskope geprüft wurden, fand sich in beiden Versuchen der Reiber positiv, der geriebene Streifen negativ elektrisch. War hingegen der geriebene Streifen erwärmt worden, so wurde er durch die Reibung positiv, der Reiber negativ. Wir werden sehen, dafs bei der Reibung von seidenen Bändern (§. 914.) genau die entgegengesetzten Resultate erhalten wurden. Die Glasstreifen wurden auch noch in einer Weise gerieben, dafs keiner von ihnen als Reiber wirkte. Die Streifen, an einer Fläche mit Handhaben versehen, waren mit ihren freien Flächen auf einander gelegt, so dafs sie einander deckten (Fig. 176.). Der zur Rechten liegende Streifen wurde dem anderen entlang auf und ab bewegt, so dafs der Punkt *B* zuerst in *A*, dann in *I* fiel, und sich die Streifen zuletzt wieder deckten. Hierdurch hatte ersichtlich jeder Streifen eine gleiche, von der Mitte zum Ende abnehmende, Reibung erfahren; die Mitte jedes Streifens war am längsten, das Ende am kürzesten gerieben worden. Der elektrische Zustand fand sich an beiden Streifen gleich, nämlich die obere Hälfte (*IB*) positiv, die untere negativ elektrisch. Der Versuch ist nicht oft wiederholt worden; wahrscheinlich würde häufig der eine Streifen in ganzer Länge positiv, der andere negativ gefunden werden.

914 Mit gleichen seidenen Bändern hat Bergman[1]) die folgenden Versuche angestellt. Von einem neuen, rothen Seidenbande wurden 2 Stücke abgeschnitten, das eine Stück über einen Rahmen gespannt, das andere an den Enden gefafst, und über das ausgespannte Band der Quere nach hin und her gezogen. Hier war das gespannte Band der Reiber. Oder eine Stelle des freien Bandes wurde über die ganze Länge des gespannten Bandes geführt, wobei das freie Band der Reiber war. In beiden Fällen wurde der Reiber *negativ*, das

[1]) *Act. acad. suec.* 1763. *Bergm. opuscula** 5. 394.

[914] geriebene Band positiv, und selbst dann, wenn das eine Band neu, das andere durch den Gebrauch abgerieben und geglättet war. Dagegen soll, wofür kein Grund zu finden ist, bei Anwendung von schwarzen Bändern stets das ausgespannte Band negativ geworden sein, es mochte Reiber sein, oder nicht. Die Erwärmung eines Bandes gab diesem die Eigenschaft, negativ zu werden, so daſs ein warmes Band, über ein kaltes hin und her gezogen, negativ wurde, obgleich das letztere hierbei der Reiber war. Beccaria [1]) wiederholte diesen Versuch mit Erfolg, und erklärte die negative Elektricität des Reibzeuges, mit dem ein Cylinder aus gleichem Stoffe gerieben wird, durch die gröſsere Erwärmung, die der Reiber erfährt. Ein Glascylinder wurde successiv mit schwarzem und weiſsem Seidenzeuge, schwarzem und weiſsem Sammt, Katzenfell überzogen und umgedreht, indeſs jedesmal ein Stück des angewandten Stoffes dagegen gehalten wurde. Der Cylinder war stets positiv, der Reiber negativ elektrisch.

915 Reibung verschieden gefärbter Stoffe gleicher Art. Verschieden gefärbte seidene oder wollene Zeuge, oder farbige Gläser, die man an einander reibt, werden in bestimmter Weise elektrisch, so daſs gewöhnlich dieselbe Elektricitätsart der einen, die andere der andern Farbe zukommt. Die Färbemittel verändern die Textur der Stoffe in gewiſs nicht geringerem Maaſse, als das Mattschleifen die Oberfläche des Glases, so daſs jene Versuche in Nichts belehrender, aber viel verwickelter sind, als die Reibung von polirtem mit mattem Glase (§. 930.). Das Aufsehen, das die Versuche mit farbigen Zeugen erregt haben, rührte daher, daſs sie dem Entdecker die zufällige Veranlassung zur Aufstellung der Hypothese von zwei qualitativ verschiedenen Elektricitäten geworden sind, einer Hypothese, die immer noch die meiste Wahrscheinlichkeit für sich hat (§. 201.). Symmer [2]) hatte im Herbste 1758 zur Trauer schwarze Strümpfe (wollene und seidene) über weiſse angezogen, und beim Abziehen derselben elektrische Funken, Aufblähen der Strümpfe und ihre kräftige

[1]) *Elettricismo artificiale** 61, 59.
[2]) *Philos. transact.* 1759.* 340. — *abridg.** 11. 405.

gegenseitige Anziehung bemerkt. Gegen Ende des Novem- [915]
bers hörte mit der Trauer auch diese Erscheinung auf, da Jener wieder zu einem weifsen Oberstrumpfe zurückgekehrt war. Es stellte sich zur Erregung einer kräftigen Elektricität als Bedingung eine verschiedene Farbe der Strümpfe heraus. Symmer hat hierüber viele Versuche angestellt, von welchen der merkwürdigste ist, dafs wenn ein schwarzer und ein weifser seidener Strumpf über einander gezogen und von einander abgezogen werden, der weifse stets positiv, der schwarze negativ elektrisch ist. Der Versuch gelang auch mit schwarzen und weifsen wollenen Strümpfen, die theils unter einander, theils mit den seidenen Strümpfen gerieben wurden. Es ist hierbei zu erwähnen, dafs, als früher Du Fay [1]) verschieden farbigen Bändern gleichen Stoffes eine geriebene Glasstange genähert hatte, das schwarze Band eher als eins der übrigen angezogen wurde, dafs hingegen die Anziehung bei allen Bändern gleich war, wenn sie mit Wasser befeuchtet worden waren. Hieraus folgt, dafs das Färbemittel, durch welches das Band schwarz geworden war, diesem ein besseres Leitungsvermögen gegeben hatte. In der That hatte also Symmer in den oben angeführten Versuchen Gewebe von verschiedenem Leitungsvermögen an einander gerieben. — Bergman [2]) spannte ein schwarzes Band über einen Rahmen, und fand es negativ, wenn es mit einem andern Bande der Länge oder Quere nach gerieben wurde, es mochte also das gespannte oder das freie Band der Reiber sein (§. 914.). War hingegen ein weifses Band ausgespannt, das mit einem grünen, blauen, oder gelben Bande gerieben wurde, so richtete sich die Elektricitätsart nach der Art des Reibens; stets war der Reiber negativ, die geriebene Fläche positiv elektrisch, wie wir es oben bei den gleichfarbigen Bändern gesehen haben. Auch mit verschiedenfarbigen Gläsern wurden Versuche angestellt [3]). Ein wasserhelles Glas mit einem blauen, purpurnen oder dunkelgrünen Glase auf irgend eine Art gerieben, wurde stets

---

[1]) *Mém. de l'acad. de Paris* 1733. — *éd. in*-12* 330.
[2]) *Bergm. opuscula** 5. 396.
[3]) *Bergm. opuscula** 5. 381.

[915] positiv, das farbige Glas negativ. Ein blaues Glas mit einem grünen gerieben wurde positiv, letzteres negativ.

Reibung ungleichartiger Stoffe.

916 Bei der Reibung ungleichartiger Stoffe mit einander wird die Elektricitätsart, die jedem von ihnen zukommt, durch *beide* Stoffe bestimmt, so daſs derselbe Körper, der, mit einem Körper gerieben, positiv elektrisch wird, mit einem andern negativ werden kann. Auch hier wird der Versuch in vielen Fällen unsicher, indem Oberflächenbeschaffenheit und Temperatur jedes der geriebenen Körper einen bedeutenden Einfluſs auf den Erfolg ausübt. Dies zeigen die folgenden Versuche Coulomb's [1]). Erwärmtes Schreibpapier mit Leinen oder Metall gerieben, wird negativ, hingegen schwach positiv, wenn das Metall hell polirt ist. Mit weiſsem Seidenzeuge oder schwarzem abgenutzten Seidenzeuge gerieben, wird Papier, so lange es noch warm ist, negativ, erkaltet hingegen positiv. Warmes Papier mit neuem schwarzen Seidenzeuge gerieben, wird positiv. Ein weiſses Seidenband, erwärmt mit Metall gerieben, wird stets negativ; auch kalt wird es negativ, wenn nicht das Metall eine starke Politur besitzt. Wendet man daher ein hell polirtes Metallgefäſs an, so wird das Seidenband negativ, wenn es gegen eine Kante, positiv, wenn es gegen eine Fläche des Gefäſses gerieben wird. Ein tief gefärbtes, neues schwarzes Seidenband wird, an Metall gerieben, stets negativ, ist es heller gefärbt und abgenutzt, so wird es unter den Bedingungen positiv, unter welchen ein weiſses Band es wird. Ein weiſses Band, mit einem neuen schwarzen Bande gerieben, wird positiv; ist aber das schwarze Band abgenutzt und das weiſse Band erwärmt, negativ. Auch wollene Bänder zeigen diesen groſsen Einfluſs der Temperatur und der Beschaffenheit der Oberfläche auf die Art der erregten Elektricität. Kalt gegen hell polirtes Metall gerieben, wird ein wollenes

[1]) *Biot traité de phys.** 2. 354.

Band positiv, gegen mattes Metall aber negativ; erwärmt wird [916] es in allen Fällen negativ.

Coulomb hat aus diesen Versuchen die folgende Regel 917 abgeleitet. Von zwei an einander geriebenen Flächen wird diejenige Fläche leicht positiv, deren integrirende Theile dabei die kleinste Bewegung um ihre Gleichgewichtslage machen; ein vorübergehender Druck, den die Fläche erleidet, bewirkt Dasselbe. Dagegen wird diejenige Fläche leicht negativ, deren Theile durch die Rauheit der andern Fläche, oder sonst wie, weiter von einander entfernt werden; Ausdehnung der Fläche durch Wärme wirkt ebendahin.

Daher werden animalische und vegetabilische Gewebe, gegen rauhes Metall gerieben, leicht negativ, gegen stark polirtes aber positiv, weil im letzteren Falle ihre Theile zusammengedrückt, im ersteren aber auseinander gezerrt werden. Die Haare eines Katzenfelles werden durch Reibung gegen Metall an einander gedrückt, ohne dafs die Theile jedes Haares gezerrt werden, das Fell wird daher stark positiv elektrisch. Webt man hingegen dieselben Haare zu einem Zeuge, und reibt dieses mit einer rauhen Metallfläche, so werden die einzelnen Haare nicht allein gedrückt, sondern auch gezerrt, und das Zeug wird negativ elektrisch. An Zeugen, die unter einander gerieben werden, bedingt das Färbemittel die gröfsere Beweglichkeit der Theile eines Zeuges. So ist schwarze Seide rauher als weifse und wird, mit dieser gerieben, negativ, sind aber die beweglichen Fäden durch den Gebrauch abgerieben, und erwärmt man die weifse Seide, so wird die schwarze positiv.

Die obige Regel dient mehr dazu, einen Anhaltspunkt in dem Gewirre widersprechender Erfolge zu bilden, die bei einem und demselben Versuche eintreten, als eine Erklärung der Elektricitätserregung durch Reibung differenter Körper abzugeben. Es ist nicht zu zweifeln, dafs nicht minder, als die mechanische Beschaffenheit der Oberfläche, die chemische Beschaffenheit der Körper maafsgebend für die Elektricitätserregung ist; eine Abhängigkeit, die der Unterordnung unter eine allgemein gültige Regel sich bisher nicht gefügt hat. Ich werde im Folgenden, ehe ich zu der Reibung der Körper im

[917] Allgemeinen übergehe, einzelne Klassen von Körpern besonders hervorheben, die, ihres praktischen Interesse wegen, eine ausführliche Bearbeitung gefunden haben.

918 Reibung von Metallen. Ob Metallflächen, gegen einander gerieben, eine am Elektroskope nachweisbare Elektricität erregen, ist sehr zweifelhaft. Cavallo[1]) hat zwar viele solche Versuche mit positivem Resultate angestellt, aber dieses war, nach seiner eigenen Angabe, nicht constant, und wollte sich keiner Regel fügen. Er liefs Metallstücke, zumeist Münzen, zu wiederholten Malen über eine schräg gestellte Zinnplatte fortgleiten, und brachte diese an seinen Duplicator (§. 348.), der erst nach längerem Spiele eine Divergenz am Elektroskope hervorbrachte. Wurde der Versuch mit erwärmten Münzen angestellt, so waren die elektrischen Anzeigen bald stärker, bald schwächer. In neuerer Zeit, in welcher die Empfindlichkeit der Elektroskope so bedeutend gesteigert worden ist, hat man bei Reibung von Metallflächen unter einander keine Spur von Elektricität bemerkt[2]). Die Reibung von Metallflächen mit Feilicht wird unten (§. 939.) angeführt werden. Reibt man ein Metall mit einem Halbleiter oder Isolator, so ist es leicht, die erregte Elektricität aufzuzeigen. Will man die Elektricität des Metalles prüfen, so ist es, wie sich von selbst versteht, nöthig, das Metall an einer isolirenden Handhabe zu halten. Haüy[3]) hat eine Reihe von Metallen bei Reibung mit *wollenem* Tuche untersucht. Er fand positiv elektrisch: Silber, Blei, Kupfer, Zink, Messing, Wismuth, Silberamalgam. Negativ: Platina, Palladium, Gold, Nickel, Eisen, Zinn, Zinnamalgam, Arsenik, Antimon. Die Metalle wurden zumeist in gediegenem Zustande angewendet, auf die Beschaffenheit ihrer Oberfläche aber keine Rücksicht genommen, wonach den obigen widersprechende Angaben zu erklären sind. Faraday[4]) fand Silber und Kupfer, mit Flanell gerieben, negativ, und giebt kein Metall an, das damit positiv würde. Selen und Jod werden, mit Wolle gerieben, ebenfalls

---

[1]) *Compl. treatise of electric.* 1795.* 3. 111. [2]) Dellman in Gehlers N. Wörterb.* 11. 102. de la Rive Poggend. Annal.* 37. 515. [3]) *Annales de chim. t.* 8. (1818). Schweigger Journ.* 25. 147. [4]) *Exper. research.* alin.* 2141.

negativ. Mit *Siegellack* gerieben, fand Cavallo[1]) alle versuchten Metalle negativ elektrisch, Singer[2]) hingegen Eisen, Stahl, Reifsblei, Blei und Wismuth positiv. Die Art der Reibung ist hierbei aber nicht gleichgültig. Als Wilson[3]) die Fläche einer Silberplatte an Siegellack rieb, wurde das Silber positiv, das Lack negativ, als hingegen nur eine Kante des Silbers gerieben wurde, das Lack positiv, das Silber negativ. Dafs die Oberfläche des Siegellacks den Erfolg bestimmt, sah Singer, indem mit glattem Siegellack gerieben das Eisen positiv, mit mattem negativ wurde. Der Einflufs der Metalloberfläche erscheint in einem Versuche Davy's[4]), nach welchem eine frische Bleifläche, an Schwefel gerieben, negativ wird, hingegen positiv, wenn sie angelaufen ist. Nach Wilcke[5]) werden alle Metalle, mit Ausnahme des Bleies, gegen Schwefel gerieben, negativ. [918]

919 Eine Reihe von Versuchen über die Reibung von Metallen mit der Hand, mit Elfenbein, Horn, Kork, Kautschuk und Harz hat De la Rive[6]) angestellt. Er fand, dafs alle Metalle durch die Reibung mit den genannten Stoffen negativ elektrisch werden. Scheinbare Ausnahmen von der Regel sind dadurch erklärlich, dafs der Reiber eine, auf dem Metalle gebildete, Oxydschicht abgezogen hat, so dafs nun das Metall, mit seinem Oxyde gerieben, positiv elektrisch wird. Ist keine Oxydschicht da, oder ist sie so fest, dafs sie nicht abgerissen wird, so zeigt das Metall seine normale negative Elektricität. Stets negativ wurden: Rhodium, Platin, Palladium, Gold, Tellur, Kobalt, Nickel; meistentheils negativ: Silber, Kupfer, Messing; negativ und positiv: Antimon, Wismuth, Blei, Zink, Zinn, Eisen. Die letztgenannten, unbestimmt elektrischen, Metalle wurden in Form von Würfeln von 1 Zoll Seite zum besondern Gegenstande der Untersuchung gemacht. Nach eben gereinigter Oberfläche in trockener Luft gerieben, waren sie negativ; in feuchter Luft, bei Erwärmung auf ihrer ganzen Fläche gerieben, positiv elektrisch. Die anomale (positive)

---

[1]) *Treatise of el.** 1. 21. [2]) Elemente d. Elektr.* 21. [3]) Priestley Geschichte der El.* 144. [4]) Gilbert Annalen* 28. 168. [5]) Franklin's Briefe von Wilcke.* 257. [6]) *Bibliothèque universelle** 59. 13. Poggend. Ann.* 37. 506.

[919] Elektricität tritt desto leichter ein, je mehr Gelegenheit zur Bildung einer leichten Oxydschicht, und zum Uebergehen derselben an den Reiber gegeben wird. So wurden die heifsen Zink-, Zinn-, Eisen-Würfel, auf den Flächen gerieben, positiv, auf den Kanten gerieben, negativ. Antimon und Silber, sonst sehr constant negativ, konnten, durch anhaltendes Reiben auf ihren Flächen mit Kork und Kautschuk, positiv erhalten werden. Mit Ebenholz bringt man die negative Elektricität der Metalle leicht zuwege; nur Blei und Wismuth werden sehr selten negativ. Diese beiden Metalle oxydiren nämlich leicht, wie die matte Farbe des Bleies und die schillernde des Wismuths verräth. Geschwindigkeit und Druck beim Reiben haben keinen Einflufs auf die Art der erregten Elektricität.

920 Die Wandelbarkeit der Erscheinungen beim Reiben der Metalle wird am deutlichsten in der Menge einander widersprechender Versuche, die Dessaignes [1]) angestellt hat. Es wurden Scheiben von Gold, Platin, Silber, Kupfer, Eisen, Wismuth, Zink, Zinn, Antimon und Blei angewendet, die, an Siegellackstielen befestigt, gegen ein wollenes Zeug gerieben wurden. Die Metalle waren bald positiv, bald negativ, bald gar nicht elektrisch, Resultate, die der Beobachter dadurch als gesetzmäfsige darzustellen sucht, dafs er der Jahreszeit, dem herrschenden Winde, dem Barometerstande und der Temperatur einen entscheidenden Einflufs auf die Elektricitätserregung zuschreibt. Nur dem letzteren Momente kann ein reeller Einflufs eingeräumt werden. Metalle, die, bis zum Gefrierpunkt erkältet, mit Wolle von wahrscheinlich bedeutend höherer Temperatur gerieben wurden, waren nicht elektrisch, und wurden es erst nach 30 bis 40 Reibungen. Es werden nämlich Metalle, mit Wolle von gleicher Temperatur gerieben, negativ; die höhere Wärme der Wolle machte, nach der oben angeführten Regel (§. 917.), die Wolle geneigt, gleichfalls negativ zu werden, so dafs es nicht auffallend erscheint, wenn kaltes Metall, mit bedeutend wärmerer Wolle gerieben, zu schwache Elektricität entwickelte, um das, zu diesen Versu-

---

[1]) *Journal de physique* 1811. Schweigger Journal* 9. 119.

chen gebrauchte, Strohhalmelektroskop zu einer merklichen [920] Divergenz zu bringen.

921 **Reibung des Quecksilbers.** Taucht man einen Halbleiter oder Isolator in Quecksilber und zieht ihn schnell heraus, so wird durch die Reibung des eingetauchten Körpers gegen die gebildeten Quecksilberwände Elektricität erregt. Ueber die Elektricitätsart, die dem Metalle bei Anwendung verschiedener Körper zukommt, sind die Angaben verschieden. Canton[1]) fand durch Eintauchen von Glas, Bernstein, Siegellack, Doppelspath, das Quecksilber negativ elektrisch geworden. Er wurde hierdurch veranlaſst, das Reibzeug der Elektrisirmaschine mit Zinnamalgam zu belegen, um eine kräftigere Erregung des Glases zu erhalten. Dagegen fand le Roy Glas negativ geworden durch Eintauchen in Quecksilber, und ebenso Ingenhousz[2]), der den Grund des verschiedenen Erfolges in der Geschwindigkeit, mit der das Glas in das Metall getaucht wird, gefunden zu haben glaubte. Nach dem Letzteren wird Glas, Kampher, Schellack, Siegellack, Kautschuk, langsam in Quecksilber getaucht und herausgezogen, negativ, schnell eingetaucht, positiv elektrisch, und bei einem gewissen Grade der Schnelligkeit nicht elektrisch. Van Marum[3]) lieſs eine Glasscheibe um ihre Axe in einem Gefäſse mit Quecksilber laufen, und fand sie negativ, das Metall also positiv. Ebenso, wie Glas, wurde Kolophon, Schellack, weiſses Wachs, Gummi Elemi, Sandarach, Mastix, Pech, geöltes Holz durch Quecksilber negativ. Der Beobachter construirte danach eine neue Art von Elektrisirmaschine, indem er eine Schellackscheibe in Quecksilber umlaufen lieſs. Dessaignes[4]) giebt den Erfolg des Reibens mit Quecksilber, je nach der Lufttemperatur und dem Barometerstande, verschieden an. Bei kaltem Wetter und hohem Barometerstande sollen Glas, Bernstein, Wachs, Papier, Baumwolle, Seide und Wolle, langsam oder schnell eingetaucht, das Quecksilber positiv elektrisch machen, hingegen negativ bei kaltem Wetter und dünner

---

[1]) *Philos. transact.* 1762. — *abridg.** 11. 611.
[2]) Vermischte Schriften. Wien 1784.* 1. 46.
[3]) Abhandl. üb. d. Elektrisiren. Gotha 1777.* 21.
[4]) Schweigger Journal* 9. 115.

[921] Luft. Schwefel elektrisirte das Metall stets negativ. Von Glas, Bernstein, Schwefel und Siegellack wird aufserdem behauptet, dafs sie das Metall nur dann elektrisch machen, wenn sie wärmer als jenes sind.

922 Es ist wahrscheinlich, dafs diese verschiedenen Erfolge durch die Oberflächenbeschaffenheit des Quecksilbers und des eingetauchten Körpers bedingt werden. In Betreff des Glases hat sich mir dies deutlich gezeigt. In einem hohen, unten mit einem Eisenhahne versehenen, Holzgefäfse befand sich Quecksilber, das mit einer Oxydschicht bedeckt war. Es wurde Quecksilber durch den Hahn in eine eiserne Schale gelassen, und diese auf den Teller eines Säulenelektroskops gestellt. So konnte leicht die Elektricität des Quecksilbers und, zur Controle, die des darein getauchten Körpers geprüft werden. Gebrauchte Glasstäbe, in das reine Quecksilber der Schale getaucht, wurden negativ, das Quecksilber *positiv* elektrisch. Als jedoch die Stäbe sorgfältig gereinigt waren, machten sie das Quecksilber der Schale *negativ*, ohne dafs die Geschwindigkeit des Eintauchens die Elektricitätsart änderte. Diese reinen Stäbe, die in dem Quecksilber mit reiner Oberfläche sicher positiv wurden, zeigten sich negativ durch Eintauchen in das Quecksilber mit oxydirter Oberfläche in dem Holzgefäfse. Gewöhnlich war an den Stäben, die negativ wurden, die Unreinheit ihrer Oberfläche oder der des Quecksilbers schon dadurch bemerklich, dafs sie durch das Metall beschmutzt wurden. Es folgt hieraus, dafs Quecksilber mit reiner Oberfläche durch Reibung gegen eine reine Glasfläche *negativ* elektrisch wird.

923 Reibung von Mineralien. Haüy[1]) hat die Elektricitätsart bestimmt, die verschiedene Mineralien zeigen, wenn sie mit *wollenem* Tuche gerieben werden. Die geriebenen Flächen waren Krystallflächen, oder zufällig gebildete Bruchflächen ohne absichtliche Veränderung. Die Mineralien folgen hier in alphabetischer Ordnung.

---

[1]) *Annales de chimie.* 8. (1828). Schweigger Journ.* 25. 143.

Durch Reibung mit Wolle werden positiv elektrisch: [923]

Axinit
Arragonit
Alaun
Augit
Analzim
Anhydrit
Anthophyllit
Asbest
Borazit
Bleierz weifs-
Bitterspath
Bittersalz
Bergkrystall
Bleivitriol
Borax
Cölestin
Chrysoberyll
Cyanit
Chiastolith
Doppelspath
Datholith
Dichroit
Diamant
Diallage
Euklas
Essonit
Epidot
Flufsspath
Fraueneis
Feldspath
Glauberit
Granat
Glimmer
Hornblende
Hypersthen
Ichthyophthalm
Kali schwefelsauer
Kochsalz
Kryolith
Kreuzstein
Kieselzinkerz
Lomonit
Mesotyp
Malachit
Magnesia
Nephelin
Olivenerz
Prehnit
Pinit
Petalith
Spargelstein
Schwerspath
Strontianit
Salpeter
Sapphir
Spinell
Smaragd
Stilbit
Salmiak
Sodalith
Schabasit
Staurolith
Topas
Turmalin
Titanit
Tungstein
Triphan
Vesuvian
Witherit
Wernerit
Wawellith
Zirkon
Zinnstein.

[923] Durch Reibung mit Wolle werden negativ elektrisch:

Anthrazit
Arsenikkies
Bernstein
Bleiglanz
Bleierz roth, braun, grün, gelb
Blende
Chromeisenstein
Columbeisen
Ceriumoxyd schwarz
Erdpech
Eisen oxydulirt
Eisenkies weifs
 - magnetisch
Eisenglanz
Eisenpecherz
Eisenvitriol
Erdkobalt schwarz
 - roth
Fahlerz
Glaserz
Graubraunsteinerz
Graphit
Honigstein
Kupfernickel
Kupferkies
Kupfervitriol
Kupferglanz
Kupferlasur
Kupfersmaragd
Lievrit
Manganglanz
Magnetkies
Oktaëdrit
Phosphorkupfererz
Quecksilberhornerz
Retinasphalt
Rotheisenstein
Rothgültigerz
Rauschgelb
Rothkupfererz
Rutil
Schwefel
Spiefsglanzsilber
Schwefelkies
Spiefsglanz grau-
Talk
Uranpecherz
Uranglimmer
Wasserblei
Wolfram
Würfelerz
Yttrotantal
Zinnober.

924 Reibung von Hölzern. Holz im frischen Zustande hat ein ziemlich gutes Leitungsvermögen, das mit zunehmender Trockenheit des Holzes abnimmt, so dafs zuletzt am Ofen getrocknetes und mit Oel getränktes Holz als Isolator gelten kann. In jedem Zustande wird Holz, mit Wolle gerieben, negativ elektrisch. Fechner [1]) versuchte die Elektricität zu bestimmen, die frische Hölzer durch Reibung an einander an-

[1]) Resultate der Pflanzenanalysen. Leipz. 1829.* 259.

nehmen. Es wurden Scheiben senkrecht auf den Wuchs geschnitten und, an Schellackstielen isolirt, mit einander gerieben. Im Allgemeinen wurden die dichteren schwereren Holzarten, mit leichteren gerieben, negativ; so Ebenholz mit allen übrigen Hölzern. Dann folgten die Hölzer ungefähr in der Reihe: Orange, Kirschbaum, Kiefer, Guajakholz, Eiche, Mahagoni, Pflaumen, Linde, Ahorn, Eller, Brasilienholz, Hollunder. Jedes dieser Hölzer mit einem später genannten gerieben, wurde negativ. Doch war die Reihe von der Linde an nicht mehr sicher. Daſs Birke, Weiſsbuche, Rothbuche und Buchsbaum als die Hölzer genannt werden, die häufig positiv wurden, widerspricht der zuerst angegebenen Regel. [924]

925 Reibung des Glases. Glas, als das Material der gebräuchlichen Elektrisirmaschinen, hat in Betreff der Elektricität, die es durch Reibung erhält, viele Versuche veranlaſst. Es wurde dazu anfangs mit der Hand oder einem wollenen Tuche gerieben, später mit Leder, das mit Mussivgold oder einem Amalgame bekleidet war. Der Gebrauch des Amalgams, das nicht nur die Stärke, sondern auch in einigen Fällen die Art der erregten Elektricität bestimmt (§. 927.), ist zuerst 1762 von Canton angegeben worden (§. 921.). Statt des von ihm gebrauchten Zinn-Amalgams schlug Higgins [1]) ein Zink-Amalgam vor; seit 1788 wird allgemein das früher beschriebene (§. 294.) Zink-Zinn-Amalgam angewendet. Mit diesem Amalgame gerieben, werden alle Gläser positiv elektrisch. Es war die Meinung entstanden, daſs die Wirkung eines Amalgams durch die Oxydirung bedingt werde, die das mit Quecksilber verbundene Metall erleidet. Wollaston [2]) gab an, daſs Glas mit Silber- oder Platinamalgam gerieben, nicht elektrisch werde. Er brachte, um die Oxydirung des Zinn-Amalgams zu hindern, eine kleine Glasmaschine unter eine Glocke, die mit Kohlensäure gefüllt war, und sah die Elektrisirung ausbleiben; und wieder eintreten, als atmosphärische Luft in die Glocke gelassen war. Früher schon hatte Heidmann [3]) ähnliche Versuche angestellt, und die Wirkung

---

[1]) *Philos. transact.* 1778. 861. — *abridg.** 14. 446.
[2]) *Philos. transact.* 1801. 427. Gilbert Annalen* 11. 112.
[3]) Theorie d. Elektric. Wien 1799.* 2. 204.

[925] einer Glasmaschine am stärksten gefunden, wenn sie sich in einem mit Sauerstoffgas erfüllten Raume befand, aber fast erloschen in Kohlensäure, Stickgas, Wasserstoffgas. Davy[1]) fand dagegen eine Maschine, von Wasserstoffgas umgeben, wirksam, von kohlensaurem Gase umgeben, sogar noch wirksamer als in atmosphärischer Luft. Péclet[2]) brachte eine Cylindermaschine, deren Reibzeug mit Mussivgold (Schwefelzinn) bekleidet war, in eine Glocke, die successiv mit atmosphärischer Luft, Wasserstoff-, und Kohlensäuregas gefüllt wurde. Die Maschine wirkte in allen drei Fällen gleich stark, wonach die abweichenden Angaben der früheren Beobachter nur durch den Wassergehalt der von ihnen angewandten Gase bedingt sein konnten.

926 Ueber die Tauglichkeit verschiedener Gläser zu Elektrisirmaschinen habe ich früher (§. 287.) das Nöthige beigebracht, so dafs ich mich hier auf die noch nicht angeführten Eigenschaften des Glases, ohne Rücksicht auf ihr praktisches Interesse, beschränken kann. Die Art des Reibens hat Einflufs auf die elektrische Erregung des Glases, und kann sogar die Elektricitätsart ändern. Péclet[3]) fand eine Glasstange, die bei mäfsigem Reiben mit gewalztem Blei, Kattun, Leinwand positiv wurde, durch heftiges Reiben negativ werden. Ueber einem kleinen drehbaren Glascylinder wurde ein, gleichfalls drehbarer mit Leder überzogener, Kupfercylinder befestigt und mit der Hand gegen jenen gedrückt. War die Axe des Kupfercylinders festgestellt, so erfuhr der Glascylinder bei seiner Umdrehung die gleitende, war die Axe beweglich, die rollende Reibung. Beide Arten der Reibung machten das Glas positiv, als der Kupfercylinder mit Schreib- oder Metallpapier, Schaffell oder Molleton bekleidet war. Als aber der Cylinder mit neuem klebenden Wachstaft überzogen wurde, gab die gleitende Reibung dem Glase positive, die rollende negative Elektricität. Dies ist durch die später anzuführende (§. 945.) Elektrisirung durch Druck zu erklären. Von grofsem Einflusse auf die Erregung ist die Oberflächenbeschaf-

---

[1]) Elem. d. chem. Theils d. Naturlehre. Berl. 1814.* 144.
[2]) *Annales de chim. et de phys.** 71. 83.
[3]) *Annales de chim. et de phys.** 57. 337.

fenheit des Glases. Wir unterscheiden eine *frische* Oberfläche, welche ungebrauchte Gläser kurze oder längere Zeit nach ihrer Verfertigung besitzen, eine *alte* Oberfläche, die durch den Einfluſs der Atmosphäre, schneller durch Reiben hergestellt wird, und eine *matte* Oberfläche, die Glas durch Schleifen mit Schmirgel oder Sand erhält. Gläser mit frischer Fläche werden nur schwach elektrisch, und sind daher zu Maschinen erst nach längerem Gebrauche tauglich. Diese Erfahrung ist zuerst von Franklin, und später von mehreren Beobachtern[1]) gemacht worden. Die frische Oberfläche ist Leiter der Elektricität, Priestley[2]) sah Glasröhren von 3 Yards Länge durch Mittheilung elektrisch werden, und diese Eigenschaft nach einigen Monaten verlieren. Alle Röhren erhielten die leitende Eigenschaft dadurch wieder, daſs sie stark geglüht wurden. Gold- und Kupferblätter, zwischen frische und alte Glasflächen gelegt, und durch eine Batterieentladung verflüchtigt, färbten die frische Fläche mit einem lebhafteren und festeren Fleck, als die alte. Wir erkennen also in Bezug auf Leitung ähnliche Unterschiede zwischen alter und frischer Fläche am Glase, wie am Glimmer (§. 26.), Unterschiede, welche selbst die am Glase erregte Elektricität ändern können, wie das folgende Beispiel zeigt. Alte Glasflächen sind nichtleitend und werden mit den meisten Körpern, mit welchen sie gerieben werden, positiv elektrisch; nur die härteren Krystalle, namentlich die Edelsteine, der Pelz der Raubthiere und struppiges Menschenhaar machen sie negativ. Matte Glasflächen hingegen leiten die Elektricität ziemlich gut (§. 25.) und werden durch Reibung mit vielen Körpern negativ. Es werden nur Wachstaft, Schwefel, Metalle, Alkohol, Aether und alle trockenen und flüssigen Harze genannt[3]), die das matte Glas positiv elektrisiren, während es negativ wird mit Wolle, Federkielen, Holz, Papier, der Hand und den Stoffen, die auch das glatte Glas negativ elektrisiren. Reibt man eine glatte Glasfläche mit einer matten, so wird die erste positiv, die letzte negativ.

[926]

---

[1]) *Cavallo treatise.** 1. 9. *Nollet leçons de phys.** 6. 274. *Priestley history of electr.* 1767.* 585.

[2]) *Priestley history** 621 *flw.*

[3]) *Encyclopaedia metropolitana. Lond.* 1830.* *electric.* 121.

927 Die elektrische Erregung ist also abhängig von Unterschieden der Glasfläche, die durch den Anblick oder doch durch Prüfung des Leitungsvermögens erkannt werden. Aber diese Abhängigkeit ist, wie Heintz[1]) gezeigt hat, noch viel feiner, und macht sich bei Unterschieden der Glasfläche bemerkbar, die in keiner Weise direct nachzuweisen sind. Man erhitze die Hälfte eines Glasstabes, indem man den Stab unter drehender Bewegung eine Minute lang über die Flamme einer Alkohollampe fortführt, und lasse ihn erkalten. Es ist zwischen beiden Hälften des Stabes durch den Anblick, oder die Prüfung des Leitungsvermögens kein Unterschied zu finden. Dennoch wird die von der Flamme berührte Hälfte des Stabes, mit Wolle oder Leder gelinde gerieben, stark negativ, während die unberührte Hälfte, wie gewöhnlich, positiv wird. Längere Zeit fortgesetztes Reiben, ein kurzes heftiges Reiben, das Abwaschen mit Alkohol oder Kalihydrat stellen den gewöhnlichen Zustand des Glases wieder her, so dafs danach der ganze Glasstab durch Reiben positiv wird. Ohne diese Mittel erhält sich der ungewöhnliche Zustand des Glases Tage- und Wochenlang. An der Stelle von Leder und Wolle wendete Heintz mit gleichem Erfolge Siegellack, Seide, Stanniol, Zink, Eisen, Blei, Kupfer, Silber, Platin, Gold als Reiber an. Aber Kienmayer'sches Amalgam, trocken oder fett auf Leder gestrichen, machte auch das veränderte Glas stets positiv. Bergkrystall, Kalkspath, Gyps und Schwerspath erlitten durch die Flamme gleiche Aenderung, wie das Glas. Auch ohne Anwendung der Flamme konnte das Glas in jenen ungewöhnlichen Zustand versetzt werden. Ein Glasstab wurde in concentrirte Schwefelsäure, Salzsäure oder Salpetersäure getaucht, mit destillirtem Wasser abgespült, bis das Abfliefsende nicht mehr sauer reagirte und dem Trocknen überlassen. Der Stab wurde hiernach wie früher durch Reiben negativ. Alkalien, in eben der Weise, wie die Säuren, angewendet, brachten diese Aenderung nicht hervor.

928 Die Wirkung der Flamme besteht unzweifelhaft in einer Veränderung der Glasoberfläche, da der ungewöhnliche Zu-

---

[1]) Poggend. Ann.* 59. 305.

stand des Glases durch mechanische Mittel beseitigt werden [928] kann. Wodurch aber diese Veränderung unmittelbar herbeigeführt wird, ist nicht ausgemacht worden. Die Hitze der Flamme kann es nicht sein, weil Glasstäbe, in Metall- oder Glasröhren eingeschlossen, durch starke Erhitzung keine Aenderung erfahren. Man muſs, wofür auch die zuletzt angeführten Versuche sprechen, eine Einwirkung der Verbrennungsproducte auf das Glas annehmen. Es wurden zu diesen Versuchen verschiedene Flammen wirksam gefunden, nämlich die Flamme des Alkohols, Aethers, Rüböls, Phosphors, Schwefels, der Kohlen, des Kohlenoxydgases und des Wasserstoffgases. Diese Flammen liefern sehr verschiedene Producte, von welchen die einfachsten bei der Wasserstoff-Flamme (Wassergas), und bei der Kohlenoxyd-Flamme (Kohlensäure) auftreten. Es wurden Wasserdämpfe in einer heiſsen Röhre über Glasstäbe geleitet, aber diese blieben unverändert, sie erhielten durch Reibung positive Elektricität. Ebenso unwirksam blieb heiſse Kohlensäure. Die Hauptproducte der Verbrennung bringen also die durch die Flamme erzeugte Veränderung des Glases nicht hervor, wenigstens nicht, wenn sie schon gebildet auf Glas wirken. Ob sie im Augenblicke ihrer Entstehung wirksamer sind, oder ob, was wahrscheinlicher ist, bei jeder Verbrennung als Nebenproduct aus der Atmosphäre Salpetersäure gebildet, und durch diese die Veränderung des Glases hervorgebracht wird, steht dahin. Daſs die Oberfläche des Glases auch durch Wirkung der Wärme allein eine Aenderung erleidet, hat Löwel[1]) durch Versuche gezeigt, eine übersättigte Salzlösung zum Krystallisiren zu bringen. Eine in der Wärme gemachte Lösung von Glaubersalz in Wasser, die unter aufgehobenem oder beschränktem Luftzutritt erkaltet ist, erstarrt augenblicklich, wenn man sie mit dem Ende eines Glasstabes berührt. Wurde aber ein Glasstab in einem leeren Gefäſse bis zur Wärme des kochenden Wassers oder darüber erhitzt, und dann in einer verschlossenen Flasche aufbewahrt, so blieb die Salzlösung flüssig, in die der Stab getaucht wurde. Liebig[2]) hat hierüber einen leicht zu wie-

[1]) *Annales de chim.* 3. *sér.** 29. 110.
[2]) Chemische Briefe. Heidelberg 1851.* 360.

[928] derholenden Versuch mitgetheilt. Man löse in 1 Gewichtstheile Wasser 2 Theile Glaubersalz zu einer klaren Flüssigkeit, was leicht gelingt, wenn man das Wasser etwa 30° R. warm erhält. Diese Lösung, in ein Champagnerglas gegossen, das mit einer Glasplatte bedeckt wird, bleibt auch nach der Erkaltung klar und flüssig. Zugleich habe man die Hälfte eines Glasstabes in einer Alkoholflamme erhitzt, und den Stab danach in einer engen verschlossenen Flasche aufbewahrt. Mehrere Stunden oder Tage nach dieser Vorbereitung kann die von der Flamme veränderte Hälfte des Glasstabes in die Lösung getaucht und darin herumbewegt werden, ohne daſs die Lösung eine Aenderung erfährt, während sie augenblicklich zu einer trüben krystallinischen Masse erstarrt, wenn man sie mit dem unveränderten Ende des Stabes berührt. Der Glasstab war noch 14 Tage nach seiner Erhitzung unwirksam, erhielt durch Eintauchen in Wasser und Trocknen an der Luft seine Wirksamkeit nicht wieder, wohl aber, wenn er einige Zeit an freier Luft gelegen hatte.

929 Spannungsreihe geriebener Körper. Combinationen zu je zweien von Körpern, die an einander gerieben, elektrisch werden, giebt es so viele, daſs sie noch lange nicht durch den Versuch erschöpft sind. Auch ist kein praktisches Interesse vorhanden, sie zu erschöpfen, da hierauf bezügliche Angaben dem Beobachter die eigene Prüfung nicht ersparen. Man kann wol wissen, daſs man dieselben Stoffe, wie der Vorgänger, in Händen habe, aber nicht, ob mit derselben, hier so entscheidenden, Oberfläche. Es ist daher keineswegs meine Absicht, alle Versuche aufzuführen, die über die Elektricitätserregung durch Reibung angestellt worden sind; ich theile davon nur einige Gruppen mit, um daran ein merkwürdiges Gesetz aufzuzeigen, das im Allgemeinen die Elektricitätserregung regelt, und einst über das Ursächliche dieser Erregung Aufschluſs zu geben verspricht. —

Man nehme an, daſs eine der bekannten allgemeinen Eigenschaften der Körper, z. B. die Härte, die Ursache der Elektricitätserregung an zwei gegen einander geriebenen Körpern sei, und daſs von diesen beiden Körpern der, welcher jene Eigenschaft in höherem Grade als der andere besitzt,

positiv elektrisch werde. Würde nun eine Anzahl von Körpern nach abnehmender Härte in eine Reihe geordnet, so erhielte man eine Reihe, in welcher jeder Körper, mit einem voranstehenden gerieben, negativ, mit einem folgenden gerieben, positiv elektrisch wird, und zugleich müfste mit der Entfernung zweier Körper in der Reihe die Stärke der Erregung wachsen. Eine Reihe von Körpern, die diese Eigenschaften besitzt, nennt man *Spannungsreihe nach Reibung*. Es haben sich in der That viele Körper indirect, indem man ihre Elektricität bei der Reibung untersuchte, in eine Spannungsreihe bringen lassen, aber die allgemeine Eigenschaft, nach welcher diese Körper geordnet sind, ist unbekannt, da man schwerlich, wenn Wilson [1]) Härte, verbunden mit der Kraft elektrisch zu werden, dafür angiebt, dies für eine genügende Lösung der Aufgabe ansehen wird. [929]

930 Die erste Spannungsreihe ist 1758 von Wilcke [2]) in einer Anmerkung gegeben worden. Es wird als Grund der Elektrisirung durch Reibung die verschiedene Kraft angenommen, mit welcher die Körper die Elektricität anziehen. Werden Körper von gleicher Kraft zusammengebracht, so entsteht keine Elektricität, bei ungleicher Kraft erhält der stärker ziehende mehr Elektricität, als er natürlich besitzt, er wird nach Franklin's Hypothese positiv, der andere Körper negativ. Man sieht, dafs aus dieser Ansicht unmittelbar die Möglichkeit folgt, die Körper in eine Spannungsreihe zu bringen, was aber nur indirect geschehen kann, da die Kraft, mit der die Körper die Elektricität anziehen, nicht bekannt ist. Durch wiederholte Versuche, so sind Wilcke's Worte, habe ich gefunden, dafs die folgenden Körper ein solches Verhältnifs unter einander haben, dafs sie in der Ordnung, wie sie hier stehen, positiv werden, wenn man sie mit den folgenden, negativ hingegen, wenn man sie mit den vorhergehenden reibt. Aepinus [3]) fand die Elektricitätsart bei Reibung zweier Körper zu unsicher, um ein Gesetz der Erregung zuzugeben. Nur drei Erregungen werden als sicher angegeben, durch welche

[1]) *Philosoph. transact.* 1759. — *abridg.** 11. 401.
[2]) Franklin's Briefe übers. v. Wilcke.* 257.
[3]) *Recueil de mém. s. l. tourmaline. Petersb.* 1762.* 73.

[930] glattes Glas, mit Schwefel, Metall und mattem Glase gerieben, positiv wird. Bergman[1]) nahm 1765 zwar das Gesetz für richtig an, aber überall gestört durch Härte, Oberfläche, Wärme der geriebenen Körper und die Art ihrer Reibung. Im Jahre 1788 gab Herbert die Spannungsreihe einer Menge von Körpern, die, wie die Wilcke'sche Reihe, unbeachtet blieb. Lichtenberg[2]) erwähnt 1794 das Gesetz der Spannungsreihe nicht, und stellte, vielleicht absichtlich, in seiner Tafel, in welche die vorhandenen Versuche über Reibung mit Kritik eingetragen sind, die Körper in eine solche Ordnung, die das Gesetz nicht erkennen läfst. Nachdem auch bei der Elektricitätserregung durch Berührung von Volta das Gesetz der Spannungsreihe aufgestellt und in seinen Folgerungen von Wichtigkeit geworden war, lenkte Ritter[3]) die Aufmerksamkeit wieder auf die Spannungsreihe bei Reibung, und ordnete die vorliegenden Versuche, freilich ohne ihre, bei vielen mehr als zweifelhafte, Gültigkeit zu prüfen, in eine Menge von Spannungsreihen, die, wenn auch nur mit grofser Vorsicht brauchbar, doch bemerkenswerth sind als das Resultat der mühevollen Bestrebung eines begabten Mannes, ein als richtig erkanntes Gesetz in allen einzelnen Fällen aufrecht zu erhalten. — Ich will einige Spannungsreihen mittheilen, und darauf Bemerkungen über einzelne interessante Erregungen folgen lassen.

931 Die Reihen sind so gestellt, dafs jeder Körper mit einem ihm in der Columne folgenden gerieben positiv, mit einem vorhergehenden negativ wird. Die Ordnung der in der Zeile genannten Körper hat keine Bedeutung.

Wilcke's Reihe (§. 930.).

Glas
Wollen-Tuch
Federkiele
Holz
Papier

[1]) *Bergm. opuscula.** 5. 371.
[2]) Erxleben Anfangsgründe d. Naturlehre. Götting. 1794.* 478.
[3]) Das elektrische System der Körper. Leipz. 1805.* 113.

Lack [931]
weiſses Wachs
mattes Glas
Blei
Schwefel
Metalle.

Die Stellung des Bleies gilt für eine angelaufene Oberfläche (§. 918.).

Herbert's Reihe [1]). 932

Haar der Cypernkatze
Diamant
andere Edelsteine
Bergkrystall
Glas
Doppelspath, Glimmer
Haar der Raubthiere
- des Büffels
Wolle
Schwanfedern
Schreibfedern
Leder
Papier trocken
Baumwolle
Hanf sehr trocken
Elfenbein, Horn
Seidenzeug
Seidenzeug schwarz oder sonst mit Eisen gefärbt
Holz geröstet
Siegellack
Kolophon
Bernstein
Schwefel.

Gröſsere Spannungsreihen in der aufgeführten Form lassen nicht die ihnen zu Grunde liegenden Versuche erkennen, da nicht jeder Körper mit allen übrigen combinirt worden, 933

---

[1]) *Theoria phaenom. electric. Vindob.* 1788. 168. Ritter electr. Syst.* 250.

[933] sondern nur mit einigen ihm zunächst stehenden. Um in solchen Reihen die einzelnen Versuche zu bezeichnen, dient die Form der folgenden Lichtenberg'schen Tafel, in welcher Young die Ordnung der Körper so umgestellt hat, dafs darin das Gesetz der Spannungsreihe sichtbar ist. Die Zeichen geben die Elektricitätsart an, welche die Körper der Horizontalreihe erhalten haben, als sie mit den betreffenden der Verticalreihe gerieben wurden.

Young's Reihe [1]).

	Glas polirt	Haare	Wolle	Federn	Papier	Holz	Wachs	Siegellack	Glas matt	Metalle	Harz	Seide	Schwefel
Glas polirt	0		−	−	−	−	−	−	−	−		−	−
Haare								−			−	−	
Wolle	+					−		−	−		−		
Federn	+								−				−
Papier	+	+						−	−				−
Holz	+	+	+						−			−	−
Wachs	+								−				−
Siegellack	+	+	+					0	−				−
Glas matt	+		+	+	+	+	+	+				−	−
Metalle	+	+							+	0			
Harz	+	+	+							+	0		
Seide	+	+							+	+			
Schwefel	+			+	+	+	+	+	+				0

Theilt man die Tafel durch eine von links nach rechts abfallende Diagonale in zwei Dreiecke, so enthält das obere Dreieck alle beobachteten negativen, das untere die positiven Elektricitäten, wodurch gezeigt ist, dafs jeder Körper mit den voranstehenden Körpern negativ, mit den ihm folgenden positiv wird. Die Stellung der Haare (von Raubthieren und Menschen) nach dem Glase beruht auf der Angabe Wilcke's [2]), dafs todte, vom Körper seit lange getrennte, Haare das Glas stets positiv machen. Bei lebenden Haaren wird der Unterschied angegeben, dafs sie der Länge nach gerieben (durch Peitschen) das Glas negativ, der Quere nach gerieben, indem das Glas durch eine Haarschlinge gezogen wird, positiv elektrisiren. Ich habe den angegebenen Unterschied der Längs-

---

[1]) *Lectures on natur. philosophy. Lond.* 1807.* 2. 426.

[2]) Abhandl. d. schwed. Akad. 1769 übers. von Kästner.* 317.

und Querreibung eben so deutlich an todten, wie an lebenden [933]
Haaren gesehen.

Faraday's Reihe [1]). 934

Katzen- und Bärenfell
Flanell
Elfenbein
Federkiele
Bergkrystall
Flintglas
Baumwolle
Leinwand, Segeltuch
Weiſse Seide
die Hand
Holz
Lack
Eisen, Kupfer, Messing, Zinn, Silber, Platin
Schwefel.

Faraday bemerkte, daſs die Art des Reibens eine Aenderung der Reihe hervorbrachte. Eine Schreibfeder, leicht gegen trocknes Segeltuch gestrichen, wurde stark negativ, durch eine Falte des Tuches unter Druck durchgezogen, stark positiv. Trotz aller Abweichungen in den vier mitgetheilten Reihen, welche Körper mit leicht veränderlicher Oberfläche betreffen, ist doch die Uebereinstimmung groſs genug, um eine bestimmte, von ihrer zufälligen Oberfläche unabhängige, Wirkung der verschiedenen Stoffe, bei der Elektricitätserregung durch Reibung, unzweifelhaft herauszustellen.

Beim Zerkleinern und Reiben sehr trockener Substanzen 935 findet häufig eine starke Elektricitätserregung statt. So wurde, bei Zerreibung von Kaffeebohnen in einer eisernen Mühle, zwischen dieser und einem untergestellten Zinngefäſse ein Strom von elektrischen Funken bemerkt [2]). Faraday [3]) sah kleesauren Kalk, der bei 119° R. getrocknet war, durch Umrühren mit einem Platinspatel so stark elektrisch werden, daſs

[1]) *Experim. research.** 2141.
[2]) *Sturgeon annals of electr.** 8. 124.
[3]) Schweigger Journal.* 52. 74.

[935] das Pulver aus der Schale geworfen wurde. Es sind noch einige in Bezug auf ihre elektrische Erregung interessante Körper zu erwähnen.

Das Kautschuk, ein unvollkommener Leiter, wird negativ elektrisch durch Reibung mit der Hand, mit Papier, Wolle, den Metallen, positiv mit Siegellack und Schwefel. Es besitzt eine grofse Elasticität, so dafs es ausgedehnt seine frühere Gestalt wieder annimmt, und unter Umständen wird bei seinem Zurückschnellen Elektricität entwickelt [1]). Befestigt man die Enden eines Kautschukstreifens an Handhaben, so wird bei Ausdehnung und plötzlichem Zusammenschnellen des Streifens keine Elektricität frei. Fafst man hingegen den Streifen mit den Händen, dehnt ihn aus und läfst ihn durch Loslassen eines Endes zurückschnellen, so erhält man starke Elektricität, die durch Reibung des Kautschuks gegen die Hand entsteht. Dasselbe Verhalten zeigt das Kautschuk, welches durch Verbindung mit Schwefel ein besseres Isolirungsvermögen und eine gröfsere Elasticität erhalten hat.

Guttapercha. Isolator und bei 70° R. knetbar, liefert dieses Harz ein zu vielen elektrischen Apparaten geeignetes Material. Sie wird mit irgend einem Körper, mit Ausnahme der Schiefswolle, gerieben stark negativ elektrisch. Nicht jedes Stück der käuflichen Guttapercha isolirt gleich gut. Faraday [2]) hat gefunden, dafs ein schlechtes Stück der Gutta sehr verbessert wird, wenn man es mäfsig erwärmt, ausstreckt und stark durchknetet, oder auch, wenn man es bis 150° R. erhitzt und dann erkalten läfst. Mir hat es geschienen, dafs auch die beste Guttapercha nur an ihrer Oberfläche die Elektricität gut isolirt, in der Masse mehr oder weniger leitet und stets an Isolationsvermögen dem Pech, Schellack und gefirnifsten Glase nachsteht.

Elektrisches Papier. Das Schreibpapier ist erwärmt ein Isolator und wird durch Reibung stark elektrisch; seine Hygroskopie ist Ursache, dafs es bei der Lufttemperatur ein Halbleiter ist (§. 25.). Durch Einwirkung der concentrirten

---

[1]) Schweigger Journal.* 62. 102.

[2]) Poggend. Ann.* 74. 156. *Philos. magazine.** 32. 165.

Salpetersäure wird, wie Pelouze[1]) gefunden hat, das Papier in seinen Elementarbestandtheilen verändert, es wird im Ansehen pergamentartig, für Wasser undurchdringlich und äufserst brennbar. Schönbein[2]) hat auf die aufserordentliche elektrische Erregbarkeit dieses Papieres, das er elektrisches Papier nennt, aufmerksam gemacht. Werden einige Bogen des elektrischen Papiers auf einander gelegt, und reibt man die oberste Fläche mit der trockenen Hand, so haften alle Bogen elektrisch an einander, und beim Abziehen wird ein glänzendes Funkenspiel bemerkt. Hält man zwei schmale Streifen solches Papiers an einem Ende, und zieht sie durch die Finger, so stofsen die Streifen einander ab und bleiben lange Zeit in divergirender Stellung. Am besten bereitet man das elektrische Papier, indem man feines ungeleimtes Papier einige Augenblicke in eine Mischung von Schwefelsäure und rauchender Salpetersäure taucht, dann mit Wasser abspült und trocknen läfst. Es ist dann gelblich, durchscheinend mit pergamentartiger Oberfläche, und wird mit Schiefsbaumwolle oder Collodium gerieben positiv, mit jeder andern Substanz, die ich versucht habe, negativ elektrisch. [935]

Schiefsbaumwolle, zuerst von Schönbein dargestellt, wird gebildet durch Einwirkung von concentrirter Schwefelsäure und rauchender Salpetersäure auf lose Baumwolle. Sie hat das Ansehen der gewöhnlichen losen Baumwolle, läfst sich aber härter anfühlen, und verbrennt mit grofser Heftigkeit. Sie ist trotz ihrer faserigen Beschaffenheit ein vollkommener Isolator der Elektricität, und wird mit jedem Körper, mit dem sie bisher gerieben wurde, negativ elektrisch. Die Schiefsbaumwolle ist als der negativste aller bekannten Körper zu betrachten.

Collodium entsteht, wenn man eine Auflösung von Schiefsbaumwolle in Schwefeläther der freiwilligen Verdampfung überläfst. Durch Benetzung einer Glasplatte mit dieser Auflösung erhält man ein feines, völlig durchsichtiges Häutchen von Collodium, das im höchsten Maafse erregbar ist. Die leiseste Berührung macht es negativ elektrisch, und es ist

---

[1]) *Dumas traité de chim. appliq.* 1843.* 6. 91.

[2]) Poggend. Ann.* 68. 159.

[935] schwer unelektrisch zu erhalten, da, der großen Entzündlichkeit des Stoffes wegen, die Flamme dazu nicht angewendet werden darf. Nur mit Schießbaumwolle gerieben, wird das Collodium positiv. Die genannten Stoffe lassen sich in folgende Spannungsreihe setzen und der Reihe §. 934 anschließen.

⋮

die Hand
Holz
Gold, Eisen, Kupfer
Kautschuk
Siegellack
Schwefel
Guttapercha
Elektrisches Papier
Collodium
Schießbaumwolle.

Die Stellung der Metalle ist hier verschieden von der in §. 934. Ich habe constant das Kautschuk, mit den aufgeführten Metallen gerieben, negativ und mit Siegellack positiv erhalten.

Elektrisirmaschinen ohne Glas.

936 Die Kostbarkeit guter Glas-Cylinder und Scheiben ist öfter Veranlassung gewesen, einen andern Stoff, als Glas, zu den Maschinen zu verwenden. Diese Maschinen sind nie in Aufnahme gekommen und können auch nur zu temporärer Aushülfe empfohlen werden. Eine gute Glasmaschine ist viele Jahre hindurch in gleichem Zustande zu erhalten, ja sie wird häufig mit der Zeit besser, während alle anderen Maschinen im neuen Zustande am wirksamsten sind. Ich will einige solche Maschinen in der Kürze beschreiben.

Holz- und Papiermaschinen. Volta[1]) wendete zuerst gedörrtes, mit Oel getränktes, Holz als geriebenen Körper bei der Elektrisirmaschine an, später auch getrocknete

[1]) *Novus ac. simplic. apparat. electric.* 1771. *Collezione dell' opere di Volta.** I_1. 68.

Pappe. Ingenhousz[1]) beschrieb eine Maschine sehr ausführlich, bei welcher drei, mit Bernsteinfirnifs getränkte, Pappscheiben an Hasenfellen gerieben wurden; sie wirkte 2 Monate lang in einem geheizten Zimmer, verlor aber danach ihre Kraft, als sie in ein kaltes Zimmer gebracht wurde. Zufällig werden solche Maschinen in den Fabriken gebildet. Ich habe in der Patentpapierfabrik in Berlin von dem, über erwärmte Metallcylinder gleitenden, Papiere fortwährend Funken überspringen, und die aufgeschichteten Papierbogen stark an einander haften gesehen. — Von einer Maschine mit einer Schellackscheibe ist schon früher die Rede gewesen (§. 921.). [936]

Zeugmaschinen. Ingenhousz[2]) hat 1780 eine kleine tragbare Maschine angegeben, die zu manchen Zwecken nützlich ist. Ein 8 bis 9 Zoll breites, 3 Fufs langes Stück Seidenzeug, das mit Leinöl getränkt worden, ist zwischen zwei, 1½ Zoll breite, Messingplatten geklemmt, die an der Innenseite mit Leder und Katzenfell überzogen sind. Diese Platten dienen als Reibzeug, und tragen an Glasstäben einen aufgeschnittenen Messingcylinder, durch den das Seidenzeug hindurchgeht. Die übrigen Theile der Maschine sind aus Fig. 177 zu ersehen. Nachdem das Seidenzeug mit einem Ende an einem Nagel aufgehängt worden, zieht man es mit der einen Hand straff, und bewegt mit der andern Hand das Reibzeug auf und ab. Der einsaugende Messingcylinder wird dadurch elektrisch, so dafs eine kleine leydener Flasche daran geladen werden kann. Wie man sieht, ist nur die Reibung abwärts von Wirkung, die aber zu Versuchen im Kleinen genügend ist. Mundt[3]) hat die Maschine zu verbessern gesucht, was nur auf Kosten ihrer Einfachheit geschehen konnte. Das Reibzeug, das oben und unten einen Einsauger hat, ist festgestellt, und das Zeug, der Wohlfeilheit wegen, ein glattes wollenes Zeug, wird durch eine Schnur auf- und abgezogen. Von den gröfseren Zeugmaschinen ist die des Legationsrathes Lichtenberg (Bruders des Physikers) zu nennen[4]); sie ist in der Construction den Glascylindermaschinen gleich, nur

[1]) *Philosoph. transact.* 1779. Ingenhousz vermischt. Schrift. Wien 1784.* 1. 183. [2]) Vermischte Schriften.* 1. 145. [3]) Gren Journal d. Phys.* 7. 319. [4]) Magazin f. d. Neueste aus d. Physik.* 1785. I_1. 86.

[936] dafs der Cylinder, 3 Fufs lang, 21 Zoll breit, aus einem glatten schwarzen wollenen Zeuge besteht, das zwischen zwei, an einer Axe befestigten, Holzscheiben ausgespannt ist. Das über dem Cylinder angebrachte Reibzeug ist mit Katzenfell überzogen; vor dem Gebrauche mufs der Zeugcylinder durch eine untergesetzte Kohlenpfanne erwärmt werden.

937 Die kräftigste Zeugmaschine ist die von Walkiers[1]) ausgeführte. In zwei verticalen, auf einem Fufsbrette einander gegenüberstehenden, Rahmen, sind zwei drehbare horizontale Walzen von 2 Fufs Breite, 6 Fufs Länge eingelassen und können mittels einer Kurbel umgedreht werden. Ueber die Walzen ist ein, 25 Fufs langes, zusammengenähtes Stück gefirnifsten Tafts geschoben und durch Verschiebung des einen Rahmens straff gespannt, so dafs durch Drehung der einen Walze auch die andere gedreht wird. Der Taft geht durch zwei Paare, 2 Fufs breiter, mit Katzenfell überzogener, Zinncylinder durch, die an den Rahmen befestigt sind, und wird von ihnen gerieben. In der Mitte des von dem Taft umspannten Raumes ist der Conductor angebracht, ein unten und oben mit Spitzen versehener Messingcylinder, der an beiden Seiten über die Ränder des Tafts hervortritt. Die Wirkung dieser, 1784 der pariser Akademie vorgezeigten, Maschine war sehr stark. Dafs dies aber nur unter sehr günstigen Bedingungen der Fall ist, zeigen die Versuche von Rosenschöld[2]), der die Wirkung einer solchen Maschine mit der Witterung veränderlich und oft sehr schwach fand, wenn auch der Taft und die Stützen des Conductors noch gut isolirten. Dies rührt wahrscheinlich von der Hygroskopie des Pelzwerkes her, das als Reibzeug dient. Alle bisher beschriebenen Maschinen geben am Conductor negative Elektricität, und man mufs, um positive Elektricität zu erhalten, die Reibzeuge isoliren, und den Conductor mit einer Ableitungskette versehen. Die Walkiers'sche Maschine hat im Wesentlichen die Einrichtung der in Fabriken zur Fortpflanzung der Bewegung gebrauchten Rollen, und kommt daher oft unabsichtlich

---

[1]) Magazin f. das Neueste.* III$_1$. 118.
[2]) Poggendorff Annalen* 32. 362.

zu Stande. In einer Wollenspinnerei [1]) war an dem Lederriemen, der um zwei hölzerne Trommeln lief, die Elektricitätserregung sehr stark; in einer andern Fabrik konnten von einem ähnlichen Riemen Funken von 17 Zoll Länge gezogen werden. — Von den neuerlich vorgeschlagenen Maschinen, in welchen Guttapercha oder elektrisches Papier gerieben werden sollen, ist in Hinsicht auf ihre Brauchbarkeit noch Nichts bekannt geworden. [937]

Elektricitätserregung durch Reibung von Pulvern.

938 Die Reibung von Pulvern gegen Flächen kann in verschiedener Weise bewirkt werden. Man kann das Pulver in einen Blasebalg füllen und herausblasen, wobei es gegen das Mundrohr des Blasebalgs gerieben wird, oder es über eine schräg gestellte Platte gleiten lassen, oder es durch ein Sieb schütteln, oder endlich durch ein Zeug beuteln. Die dabei stattfindende Elektricitätserregung ist von Cavallo 1780 bei Gelegenheit der Staubfiguren entdeckt worden, indem er Harzpulver durch Leinenzeug beutelte. Bennet [2]) blies Kreidepulver aus einem Blasebalge gegen den, 6 Zoll von dessen Mündung entfernten, Teller seines Goldblattelektroskops und fand eine Divergenz der Goldblätter mit negativer Elektricität, hingegen mit positiver, wenn die Mündung des Blasebalgs nur 3 Zoll von dem Teller entfernt war. In diesem Versuche fand offenbar eine zwiefache Reibung der Kreide statt, gegen das Eisenrohr des Blasebalgs und den Messingteller des Elektroskops. Ueberwog die erste Reibung, so kam die negative Elektricität der Kreide zur Anzeige, überwog die zweite, die positive Elektricität des Messingtellers. Als daher die Kreide auf den Teller gelegt war und durch den Luftstrom des Blasebalgs fortgefegt wurde, divergirte das Elektroskop mit positiver Elektricität, hingegen mit

---

[1]) *Lond. Edinb. philosoph. magazine* 3. ser.* 14. 126.
[2]) *Philos. transact.* 1787. 26. — *abridg.** 16. 174.

[938] negativer, wenn die Kreide von einer Metallplatte auf den Teller hinabfiel. Bennet untersuchte die Elektricität verschiedener Pulver, darunter Eisenfeilicht und Mussivgold, die auf den Teller gesiebt wurden, ferner die Elektricität, die der herumgeschleuderte Glasstaub, bei Brechung einer Glasthräne, an einem Pappdeckel hervorbrachte. Volta[1]) fand Eispulver und trocknen Schnee elektrisch, die, aus einem Blasebalge geblasen, gegen das metallene Mundrohr gerieben wurden. Von den zahlreichen Versuchen, die über die Reibung von Pulvern angestellt worden sind, folgen hier die interessantesten.

939 Metallpulver. Metall in Pulverform, wie es leicht durch Feilen erhalten wird, besitzt ein geringeres Leitungsvermögen als die Metallmasse, aus der es gewonnen wird; es hat daher nichts Auffallendes dafs, obgleich bei Reibung von cohärenten Metallen keine Elektricität merkbar wird, dies der Fall ist, wenn Feilicht gegen eine Metallfläche gerieben wird. Vassalli[2]) siebte verschiedene Metallpulver, die nicht namhaft gemacht sind, durch ein Messingsieb auf den Deckel eines Elektroskops, und fand dies positiv geladen. Diese Angabe verlor dadurch an Glaubwürdigkeit, dafs er gleichfalls positive Elektricität gefunden haben wollte, als das Metallpulver durch ein Glassieb geschüttelt wurde. Singer[3]) deckte ein Elektroskop mit einer breiten Messingplatte, und siebte durch ein isolirtes kupfernes Sieb Zinkfeilicht darauf; das Pulver wurde positiv, das Sieb negativ elektrisch. Als hingegen Kupferfeilicht und ein Zinksieb angewendet wurden, war das Pulver negativ, das Sieb positiv. Becquerel[4]) wiederholte mit Metallfeilicht die Versuche, die Cavallo mit Metallstücken ohne Erfolg angestellt hatte (§. 918.). Auf den Stift eines Säulenelektroskops war eine Metallschale geschraubt, über welche eine Metallplatte schräg aufgestellt wurde. Metallfeilicht wurde auf die Platte geschüttet, von der es in die Schale glitt, und so die bei der Gleitung erregte Elektricität dem Elektroskope mittheilte. Es fand sich, dafs im Allge-

---

[1]) Meteorologische Briefe. Leipz. 1793.* 250. *Collezione** I_1. 268. [2]) Gilbert. Ann.* 7. 500. [3]) Elemente der Elektric. 1819.* 199. [4]) *Annales de chimie et de phys.** 47. 116.

meinen das Feilicht, Oxyd, die Schwefelverbindung irgend [939] eines Metalles, mit einer Platte desselben Metalles gerieben, negativ elektrisch wurde. Nur Antimon machte hiervon eine Ausnahme, indem Feilicht davon, gegen eine Antimonplatte gerieben, positiv wurde. Kupferfeilicht wurde negativ bei Reibung gegen Platten von Kupfer, Zink, Blei, Zinn, Eisen, Wismuth und Antimon; gegen Platten von Platin, Gold, Silber gerieben, wurde es nicht elektrisch. Zinkfeilicht wurde durch Reibung mit einigen Platten positiv, mit andern negativ, Braunstein mit allen Platten negativ. Auf die Erregung von Zinkfeilicht hatte die Erwärmung grofsen Einflufs. Mit Platin, Gold, Silber, Kupfer, Graphit bei der Lufttemperatur gerieben, wurde nämlich Zinkfeilicht positiv, aber negativ, als es bis 60° C. erwärmt wurde. Die negative Elektricität war noch stärker, wenn Feilicht und Platte bis 60° erwärmt wurden. Mit Zink, Eisen, Wismuth, Antimon wurde Zinkfeilicht schon bei der Lufttemperatur negativ, und die Wärme steigerte die erregte Elektricität. Dies fand auch mit Braunsteinpulver statt, das bei der Lufttemperatur mit Gold, Platin, Kupfer, Zink, Braunstein gerieben, negativ geworden war. Die Wärme giebt also, wie anderen Substanzen, den Metallen die Tendenz, negativ elektrisch zu werden, aber dem Feilicht mehr, als dem festen Metalle, da sonst die negative Elektricität bei Erhitzung von Feilicht und Platte nicht hätte stärker sein können, als bei Erhitzung des Feilichts allein. Metallpulver an Halbleitern gerieben, werden leicht elektrisch. Cavallo [1]) liefs Stahlfeilicht über Glas oder Papier gleiten und fand es negativ, Messingfeilicht und Quecksilber positiv, Zinnamalgam negativ. Singer [2]) siebte durch Haartuch, Flanell oder Musselin Feilicht von Kupfer, Eisen, Zink, Zinn, Wismuth, Antimon, Nickel, Graphit, und fand die Pulver alle negativ elektrisch.

Reibung verschiedener Pulver. Nachdem Cavallo [3]) gezeigt hatte, dafs sich die Staubfiguren, nach Lichtenberg's Angabe mit Harzpulver dargestellt, dadurch bil- 940

---

[1]) *Complete treatise.** 2. 78.
[2]) *Encyclop. metropolit.** *electr.* 123.
[3]) *Philos. transact.* 1780.* 15. *Compl. treatise.** 2. 75.

[940] deten, dafs das durch Linnen gebeutelte Pulver negativ elektrisch wurde, sind die verschiedensten Pulver, die entweder eine ausgezeichnete Farbe besafsen, oder zufällig in den Apotheken vorräthig waren, der Untersuchung auf Elektricität unterworfen worden. Cavallo liefs das zu prüfende Pulver von Papier, Glas oder Metall auf den Deckel seines Elektroskops hinabfallen. Harz- und Schwefelpulver wurden, gegen alle drei Unterlagen gerieben, negativ, Glaspulver gegen Papier gerieben negativ, gegen Metall positiv. Rufs oder Steinkohlenasche mit Papier gerieben, wurden negativ. Singer[1]) untersuchte viele Pulver, die er durch Haartuch, Flanell oder Musselin beutelte. Die meisten von ihnen, Erden, Oxyde, trockene Säuren, Salze wurden negativ, die folgenden Substanzen positiv: Weizenmehl, Hafermehl, Lycopodium, Quassia, Zimmt, Holzkohle, schwefelsaures Kali, Salpeter, Bleizucker, Zinnoxyd. Die längste Reihe von Pulvern ist von Kortum[2]) untersucht worden, die durch ein Silbersieb, durch Musselin, weifsen und schwarzen Taft und Haartuch gesiebt wurden. Es sind die folgenden Resultate gegeben: Die kohlensauren Alkalien werden durch alle Siebe positiv, die krystallisirten Säuren negativ, die Erden, mit Ausnahme des kohlensauren Kalks, negativ, Metallsalze, Metalloxyde und vegetabilische Pulver werden positiv oder negativ mit allen Sieben, oder auch je nach dem angewandten Siebe verschieden elektrisch. Faraday[3]) liefs durch comprimirte Luft einige Pulver gegen conische Flächen treiben. Sublimirter Schwefel machte Holz und Metall und sogar einen Schwefelkegel negativ. Kieselsäure (gepulverter Bergkrystall oder aus Kiesel-Flufssäure niedergeschlagen) machte Holz und Metall positiv. Harzpulver, Gummi und Stärke gaben wechselnde Erfolge, das erste sogar beide Elektricitäten an demselben Holzstücke. Dafs nicht etwa die Elektricität des Pulvers, durch Reibung gegen das Mundrohr erzeugt, den Kegeln mitgetheilt wurde, zeigte sich, als die Kieselsäure, gegen Holz oder Metall gerieben, auf einem Brette aufgefangen und ne-

---

[1]) *Encyclop. metropolit.** 123.
[2]) Voigt Magazin f. d. Neueste.* X_2. 13.
[3]) *Experiment. research.** *al.* 2138.

gativ elektrisch gefunden wurde. Die Versuche sind indefs [940] noch als zweifelhafte zu betrachten. Denn durch den Luftstrom eines Blasebalgs oder bei dem Gleiten von Metallflächen gerieben, wird Schwefelpulver stets negativ, gepulverter Quarz positiv, es erhalten also die geriebenen Flächen die entgegengesetzte Elektricitätsart von der, die ihnen nach Faraday's Versuchen durch eine heftige Reibung ertheilt wird.

941 Die durch Reibung von Pulvern unter einander erregte Elektricität läfst sich allein an verschieden gefärbten Pulvern mit Hülfe der Staubfiguren nachweisen. Es ist gezeigt worden (§. 741.), dafs die durch ihre Form so ausgezeichneten positiven Staubfiguren von negativ elektrischen Pulvern, die negativen Staubfiguren von positiv elektrischen Pulvern bedeckt werden. Man hat, behufs jener Untersuchung, die Pulver nach ihrer Reibung mit einander zur Bildung von Staubfiguren zu verwenden. Da aber die Pulver nothwendig in Behältern mit einander gerieben werden, und jedes Pulver für sich durch Reibung gegen den Behälter elektrisch wird, so ist die Elektricität, welche die Pulver durch gegenseitige Reibung erlangen, nur unter Bedingungen nachweisbar, die aus den folgenden Beispielen entnommen werden können. Schwefel- wie Siegellack-Pulver wird, durch Linnen gebeutelt, negativ; wenn man die Pulver mit einander gemengt auf elektrisirte Pechplatten siebt, so erscheinen die positiven Figuren gelb, die negativen roth. Siegellackpulver mit Schwefelpulver gerieben, wird also positiv. Es giebt Sorten von Mennige, die durch Linnen gebeutelt, negativ werden. Schwefelpulver wird es gleichfalls, aber eine Mengung von beiden Pulvern färbt die positiven Staubfiguren stets gelb, die negativen roth. Es wird also bei Reibung von Mennige mit Schwefelpulver die erstere positiv, das letztere negativ. Ein noch schlagenderes Beispiel ist durch einen Versuch von Gersdorf[1]) gegeben. Er mengte Drachenblut, das beim Durchbeuteln positiv wurde, mit Gummi guttae, das beim Durchbeuteln negativ war, und fand zu seinem Erstaunen die damit bestreuten positiven Figuren roth, die negativen gelb. Hier

[1]) Gilbert Annalen* 17. 203.

[941] hatten die Pulver bei Reibung unter einander die Elektricitätsarten getauscht, die sie durch Reibung gegen Linnen angenommen hatten. Da die Versuche mit Pulvern durch zufällige Unreinheit oder condensirtes Wasser leicht unsicher werden, so enthalte ich mich, andere Beispiele anzuführen, die aus Cavallo's, Aldini's und Arnim's Versuchen über die Staubfiguren entnommen werden können.

Reibung von Flüssigkeiten und Luft.

942 Die Elektricitätserregung bei Reibung von Flüssigkeiten in cohärenter Form gegen feste Körper ist noch zweifelhaft, mit Ausnahme der bereits angeführten Versuche mit Quecksilber (§. 921.). Volta[1]) vermochte nicht, Oele, geschmolzenes Pech, flüssiges Fett durch Erschüttern oder Schlagen mittels irgend eines Körpers zu elektrisiren, so daſs er den flüssigen Zustand der Elektricitätserregung für höchst nachtheilig erklärt. Ich habe nur die schon oben (§. 926.) angeführten Fälle gefunden, daſs mattes Glas, mit Aether, Alkohol, flüssigen Harzen gerieben, positiv werde, ohne indeſs über die Versuche selbst, namentlich über die Art, wie die Benetzung des Glases vermieden wurde, Näheres erfahren zu können. Daſs Flüssigkeiten in fein vertheilter Form, allein oder einem Luftstrome beigemengt, gegen feste Körper gerieben, sehr stark elektrisch werden, wird in dem folgenden Kapitel gezeigt werden.

Dreihundert Jahre vor unserer Zeitrechnung wurde beim plötzlichen Ausströmen zusammengepreſster Luft ein Lichtschein bemerkt. Philo aus Byzanz beschreibt ein Wurfgeschoſs des Ktesibius, bei dem comprimirte Luft angewendet wurde, und fügt hinzu: häufig sprang zugleich Feuer heraus durch die Geschwindigkeit des Stoſses, mit dem die Luft an das Gefäſs getrieben wird[2]). Zweitausend Jahre später wurde Remer[3]) auf den hellen, ungefähr ½ Fuſs lan-

---

[1]) Meteorolog. Briefe* 252. *Collezione dell' opere** I_2. 265.
[2]) *Veterum mathematicorum opera. Par.* 1693.* 78.
[3]) Gilbert Annalen* 8. 337.

gen Lichtschein aufmerksam, der vor der Mündung einer im [942] Finstern abgeschossenen Windbüchse entstand; er vermuthete, dafs das Licht elektrischer Natur sei, konnte aber am Elektroskope keine Anzeige erhalten. Es sind einander widersprechende Angaben vorhanden darüber, ob Elektricität erregt werde, wenn Luft feste Körper bestreicht. Wilson[1]) elektrisirte Turmalin, Glas, Bernstein, indem er durch einen Schmiedeblasebalg Luft gegen diese Körper trieb. Henley[2]) fand Bernstein elektrisch, gegen den er mit einem Küchenblasebalg blies. Lichtenberg[3]) konnte in gleicher Weise Siegellack elektrisch machen, Metalle aber nicht. Volta[4]) erhielt durch Umherschleudern an einer seidenen Schnur, Isolatoren sehr schwach elektrisch, Metalle gänzlich unelektrisch. Saussure[5]) schleuderte eine 3 bis 4 Unzen schwere Bleikugel an einer seidenen Schnur im Kreise herum, ohne sie elektrisch zu finden. Marx[6]) fand Glas und Metall, auch bei der heftigsten Umdrehung, durch die Reibung gegen die Luft unelektrisch. Auch das Windbüchsenlicht ist nur selten gesehen worden. Diese verschiedenen Angaben sind durch Faraday dahin erklärt worden, dafs die *trockene* Luft Holz, Schwefel und Metall durch Reibung nicht elektrisirt, wohl aber, wenn Theile von Wasser oder einer andern Flüssigkeit in der Luft vorhanden sind. Da die beobachtete Elektricität alsdann nicht Wirkung der Reibung von Luft, sondern von den in ihr enthaltenen Flüssigkeitspartikeln ist, so folgen die hieher gehörigen Versuche weiter unten (§. 954.).

---

[1]) *Philosoph. transact.* 1759.* 888. [2]) *Philosoph. transact.* 1744 — *abridg.* 13. 564. [3]) Erxleben Physik.* 467. [4]) Meteorolog. Briefe.* 241. *Collezione** I_2. 256. [5]) *Voyages d. l. Alpes.** 2. 198. [6]) Erdmann u. Schweigger Journal f. prakt. Chemie.* 3. 239.

Zweites Kapitel.

Elektricitätserregung durch verschiedene Mittel.

Durch mechanische Trennung und Druck.

943 Feilen, Schaben. Das Zerkleinern fester Körper ist häufig von Elektricitätsentwickelung begleitet. Ein Beispiel davon ist §. 935 vorgekommen. Man braucht nur auf den Teller eines Säulenelektroskops einen Metalltiegel zu stellen, und Siegellack, Harz, Schwefel mit einem scharfen Messer hineinzuschaben, um sogleich Anzeige von starker negativer Elektricität zu erhalten. Volta[1]) feilte oder schabte verschiedene Körper über einem isolirten Metallteller, von dem er schon nach kurzer Zeit starke elektrische Wirkungen erhielt. Schwefel, Harz, Wachs, Talg, Chokolade, elektrisirten den Teller bis zum Funkengeben. Holz und Knochen, mäſsig getrocknet, Alaun, Gypsspath, Zucker und andere Salze, Marmor und verschiedene Steinarten, Ziegelsteine und trockener Mörtel, Brodrinde, Biscuit gaben merkliche Elektricität. Diese zeigte sich schon ohne Untersuchung des Tellers, indem die herabfallenden Pulver dieser Substanzen sich abstieſsen und auseinanderfuhren. Kohle, obgleich ein guter Leiter, gab beim Schaben mit einem Messer schwache aber deutliche Zeichen von Elektricität; Eis, wenn die Lufttemperatur einige Grade unter oder über Null betrug, so starke Elektricität, daſs aus dem darunterstehenden Teller Funken gezogen werden konnten. Das geschabte Eis war positiv elektrisch. Wilson[2]) schabte trockenes Büchenholz mit einem Stücke Fensterglas, und fand das Abgeschabte positiv elektrisch, aber als er mit einem Messer Späne davon schnitt, die Späne negativ. Nach Versuchen mit mehreren Messern, von welchen einige geschärft waren,

---

[1]) Meteorologische Briefe* 246. *Collezione dell' opere** I_2. 259.
[2]) Gilbert Annalen* 17. 285.

giebt er an, dafs, mit einem nicht scharfen Messer geschabt, erwärmtes Holz positiv elektrische, kaltes negative Späne liefert, aber mit einem scharfen Messer geschnitten, die Späne von jedem Holze negativ elektrisch werden. Diesen Unterschied zwischen Schaben und Schneiden hatte Vassalli[1]) für das Siegellack schon früher angegeben. Wurde Siegellack mit zugeschärften Streifen von Silber, Kupfer, Messing geschabt, so war das Abgeschabte negativ (mit Gold positiv), waren die Streifen hingegen abgerundet, mit allen genannten Metallen positiv. Die Haltung des Messers kann das Schaben oder Schneiden bedingen. So war, wenn eine vertical gehaltene Siegellackstange mit einem scharfen silbernen Messer geschabt wurde, dessen Rücken nach oben gekehrt war, das Abgeschabte negativ, dagegen positiv, wenn der Rücken nach unten gekehrt war. [943]

944 Schneiden, Brechen, Loslösen geschmolzener Stoffe. Auch das Schneiden, durch das ein Körper in zwei Theile gespalten wird, ist mit merklicher Elektricitätserregung verbunden. Ebenso wirkt das Auseinanderreifsen und Brechen vieler Substanzen. Canton[2]) bemerkte Elektricität an einem trockenen Korke, der mit einem Federmesser zerschnitten, Nicholson[3]) an einem Glimmerblatte, das auseinander gerissen wurde. Glimmer, Fraueneis, Kalkspath lassen sich leicht in der Richtung des vollkommenen Blätterdurchgangs spalten, und die getrennten Flächen zeigen danach stets entgegengesetzte Elektricitäten. In gleicher Weise ist das Zerbrechen von Siegellack, Harz, Chokolade von elektrischen Erscheinungen begleitet. Eine Elektricitätserregung, die lange Zeit die Aufmerksamkeit der Physiker in Anspruch nahm, findet nach dem Schmelzen verschiedener Stoffe statt, und beruht ebenfalls nur auf mechanischer Trennung. Gray[4]) hatte Schwefel und verschiedene Harze geschmelzt, die erkalteten Massen aus dem Schmelzgefäfse genommen und elektrisch gefunden. Ein Schwefelkegel blieb lange Zeit nach dem Schmelzen elektrisch, und ebenso das Glas, in dem er gebildet wor-

---

[1]) Gilbert Annalen* 7. 498. [2]) Saxtorph Elektricitätslehre* 1. 539. [3]) *Philos. transact.* 1789. Erxleben Physik* 477. [4]) *Philos. transactions* 1732. 285. — *abridg.** 7. 537.

[944] den war. Du Fay [1]) wiederholte den Versuch mit gleichem Erfolge. Aepinus [2]) gofs geschmolzenen Schwefel in eine Schale aus Zinn oder Messing, zog den erkalteten Schwefel heraus, und fand ihn bald positiv, bald negativ, die Schale stets dem Schwefel entgegengesetzt elektrisch. Wilcke [3]) setzte einen Eisendrath in eine heifse Glasschale, gofs fliefsendes Blei, Zinn oder Zink hinein, und liefs es darin fest werden. Das herausgenommene Metall war negativ, die Glasschale positiv elektrisch. Henley [4]) fand, dafs frischgegossene Chokolade, aus ihrer Zinnform genommen, stark elektrisch war; aufs Neue geschmolzen und in die Form gegossen, zeigte sie dieselbe Erscheinung. Nach einigen Umschmelzungen hatte zwar die Chokolade ihre Erregbarkeit verloren, erhielt sie aber wieder durch Zusatz von Olivenöl. Aus allen diesen, häufig wiederholten, Versuchen wurde geschlossen, dafs beim Festwerden einer flüssigen Masse Elektricität entwickelt werde; Aepinus [5]) hatte der Wärme allein die Wirkung zugeschrieben, als Beccaria [6]) mit der Behauptung auftrat, dafs Reibung, und diese allein, die Ursache jener Elektricitätserregung sei. An einer Siegellackstange, deren Ende zum Schmelzen erhitzt wurde, konnte nach der Erkaltung keine Elektricität wahrgenommen werden. Diese Meinung ist später vollständig bestätigt worden. Van Marum und Paets van Troostwyck [7]) liefsen Gummilack, Harz und Pech schmelzen, und fanden weder an der erkalteten Masse, noch an daran gehaltenen Metallblechen, wenn nur eine Reibung sorgsam vermieden war, eine Spur von Elektricität. Gay-Lussac [8]) erklärte den Versuch mit dem in einem Glase erkalteten Schwefel durch eine Zusammenziehung des Schwefels, die gröfser als die des Glases war, so dafs, bei dem Erstarren, der Schwefel sich von der Glaswand trennte und daran gerieben wurde. Böttger [9]) brachte in einem Platintiegel, der mit einem Säulenelektroskope verbunden war, schwefelsaures Kupferoxyd-Kali in glühenden Flufs, und entfernte

---

[1]) *Mém. de l'acad. Paris* 1734. — *éd in* -12* 473. [2]) *Tentamen theor. el.** 66. [3]) Abhandlung. d. schwed. Akad. 1769.* 317. [4]) *Cavallo compl. treatise** 1. 8. [5]) *Recueil s. l. tourmaline** 76. [6]) *Elettricism. artific.** 8. [7]) *Journal de physique* 1788. 148. [8]) *Annales de chimie et de phys.** 8. 158. [9]) Poggend. Ann.* 50. 48.

dann die Flamme. Während des Krystallisirens des Salzes [944] wurde keine Elektricität bemerkt, als aber die Masse sich unter Knistern zusammenzog und von dem Platintiegel löste, zeigte das Instrument positive Elektricität an. Es ist nicht zu zweifeln, daſs bei allen mitgetheilten Versuchen ein gewaltsames Lostrennen der geschmolzenen Massen von der Wand des Gefäſses stattfand, das mehr als hinreichend zu der beobachteten Elektricitätserregung war.

Elektricitätserregung durch Druck. Im Jahre 945 1805 schloſs Libes[1]) aus Versuchen, daſs die harzigen Körper, wenn sie gegen irgend einen Körper gedrückt werden, eine Elektricitätsart entwickeln, die der beim Reiben derselben Körper hervorgebrachten entgegengesetzt sei. Biot[2]) theilt darüber folgenden Versuch mit. Man falte neuen klebenden Wachstaft in einige Lagen zusammen, und drücke dagegen mit einer isolirten Metallscheibe, so wird der Taft positiv, die Scheibe negativ elektrisch. Reibt man hingegen die Scheibe leicht mit dem Wachstafte, so wird die Scheibe positiv, der Taft negativ. Der Versuch ist leicht zu wiederholen, nur wird man häufig auch beim Reiben die Scheibe negativ finden, aber stets schwächer, als beim Drucke. Hier ist der biegsame, dem Drucke nachgebende, Körper ein Isolator, der drückende ein Leiter; die Erregung findet aber nicht minder im umgekehrten Falle statt. Haüy[3]) drückte gut isolirende Krystalle zwischen den Fingern oder mit anderen weichen Körpern, und fand sie elektrisch mit derselben Elektricitätsart, wie beim Reiben. Am leichtesten und stärksten wurde in dieser Weise der durchsichtige Kalkspath (Doppelspath) elektrisch, ferner Topas, Fluſsspath, Talk, Glimmer, Arragonit, Bergkrystall, Schwerspath, Gypsspath. Es können auch beide Körper weich sein. Becquerel[4]) fand Kork gegen eine Orangenschale gedrückt, negativ elektrisch, gegen Kautschuk gedrückt, positiv. Von einem durchschnittenen Korke waren die Schnittflächen, gegen einander gedrückt, entgegengesetzt elektrisch; erwärmte man das eine Stück und drückte es gegen

[1]) *Journal de Paris an* 13. *p.* 208. [2]) *Traité de physique** 2. 359. [3]) *Annales de chimie* 5. 95. Schweigger Journal* 20. 383. [4]) *Traité de l'électr. Par.* 1834.* 2. 100.

[945] das andere, so wurde das warme negativ. Bei einer Reihe vergleichender Versuche über die Stärke der erregten Elektricität nach der Gröſse des Druckes, wurde Kalkspath, Schwerspath, Bergkrystall gegen eine Korkscheibe gedrückt, und gefunden, daſs bei einem Drucke zwischen 2 und 20 Pfund die Elektricität mit dem Drucke zunimmt. Wurde der Druck während der Berührung des Krystalles mit dem Korke vermindert, so war die erregte Elektricität merklich stärker, als wenn der zuletzt vorhandene Druck allein vorhanden gewesen wäre.

Reibung von feuchten Dampf- und Luftströmen.

946 Es ist seit lange bekannt, daſs bei plötzlicher heftiger Verdampfung einer Flüssigkeit Elektricität erregt wird. Volta[1]) spritzte Wasser auf glühende Kohlen in einem isolirten eisernen Becken, und fand, mit und ohne Hülfe des Condensators, das Becken negativ elektrisch. Saussure[2]) warf glühendes Eisen in ein Gefäſs mit Wasser, oder tropfte Wasser, Alkohol, Aether in glühende Tiegel von Eisen, Kupfer, Silber, Porzellan, und fand überall durch das einfache Elektroskop die dabei entwickelte Elektricität, die aber, je nach dem angewandten Gefäſse, von verschiedenem Zeichen war. Auch bei der ruhigen Verdampfung hat Volta[3]), wenn auch nur höchst schwache, Zeichen von Elektricität wahrzunehmen geglaubt: bei dem Verdampfen von Wasser, das bis 70° R. erwärmt war; an der Decke eines Saales, in welchem Wasser gekocht wurde; im letzten Falle freilich nur mit Anwendung einer Flamme und doppelter Condensation durch eine leydener Flasche und einen Condensator. Saussure[4]) hat aber bei dem Kochen von Wasser keine Elektricität erhalten, auch Erman[5]) nicht; nach Gardini[6]) fand bei der reichlichen Dampferzeugung, als 25 Pfund Aetzkalk gelöscht wurden, keine Elektricitätserregung statt, Configliachi[7]) konnte mit den em-

---

[1]) *Philosoph. transact.* 1782. *abridg.** 15. 274. *Collezione dell' op.** I_1. 270. [2]) *Voyages dans les Alpes. Genève* 1786.* 2. 227 *suiv.* [3]) Meteorolog. Briefe* 206 u. 144. [4]) *Voyages** 2. 249. [5]) Abhandl. d. Berl. Akad. 1818.* Ueber eine eigenthümliche etc. 25. [6]) *De electr. ignis natura* 181. *Cavallo treatise** 3. 276. [7]) Gilbert Annalen* 43. 370.

pfindlichsten Condensatoren keine Elektricität finden, als Wasser [946] unter der Glocke der Luftpumpe verdampfte. Dieser negativen Resultate ungeachtet, wurde aus den zuerst angeführten Versuchen geschlossen, dafs die Aenderung des Aggregatzustandes des Wassers, während es verdampft, die unmittelbare Ursache der beobachteten Elektricitätserregung sei. Später wurde diese Meinung beschränkt, nachdem Pouillet[1]) gefunden hatte, dafs reines Wasser, in einen glühenden Platintiegel getropft, keine Elektricität errege, wohl aber in einem kupfernen, eisernen oder silbernen Tiegel, dafs aber auch in dem Platintiegel Elektricität erregt werde, wenn dem Wasser ein Salz oder eine Säure oder eine ätzende Erde, wie Baryt, Kalk, Strontian beigemengt war. Es sollte die Verdampfung des Wassers nur dann Elektricität erregen, wenn dabei eine Trennung des Wassers von darin enthaltenen festen Substanzen, oder eine Zerlegung des Wassers selbst (in den oxydablen Tiegeln) stattfände. Diese Ansicht galt so lange, bis ein Zufall zu neuen Versuchen aufforderte, die endlich die richtige Erklärung lieferten. Im October 1840 hielt zu Seghill, bei Newcastle in Nordengland ein Wärter einer Dampfmaschine die eine Hand in den aus dem Sicherheitsventil ausströmenden Dampf, und empfand, als er mit der andern Hand das Gewicht am Hebel verschieben wollte, eine heftige, von einem Funken begleitete, Erschütterung in den Armen. Diese auffallende Elektricitätserregung veranlafste eine Reihe von Untersuchungen[2]), welche zwar die Bedingungen des speciellen Versuches, nicht aber die unmittelbare Ursache der Elektricitätserregung auffanden, bis Faraday nachwies, dafs diese allein in der Reibung von Wassertheilchen gegen das Ausflufsrohr zu suchen sei. Ich gehe nach dieser Einleitung zu den Versuchen, welche die Elektricitätserregung bei Reibung von Wassertheilchen gegen feste Körper beweisen.

Versuche mit platzenden Tropfen. Ein Wassertropfen, in einen über 80° R. erhitzten Tiegel geschüttet, verschwindet sehr schnell, indem der, an der Berührungsstelle des 947

[1]) *Annales de chimie* 1827. 35. 5. Poggend. Ann.* 11. 452.
[2]) Repertorium d. Physik. Berl. 1842.* 6. 270.

[947] Wassers mit dem Tiegel gebildete, Dampf eine bedeutende Spannkraft erhält, die Wassermasse auseinander sprengt, und feinvertheilt fortschleudert. Hierdurch kann man die Wassertheilchen gegen einen festen Körper reiben lassen, und die dabei erregte Elektricität beobachten. Die Beobachtung wird erleichtert, wenn man die Platzung des Wassertropfens dadurch verzögert, dafs man einen rothglühenden Tiegel anwendet. Es findet dann an dem hineingebrachten Wasser keine merkliche Verdampfung statt, der Tropfen rundet sich ab und rotirt sehr schnell um eine verticale Axe, eine Erscheinung, die unter dem Namen des Leidenfrost'schen Versuches bekannt ist. Läfst man die Temperatur des Tiegels sinken, so geräth der Tropfen bei einer bestimmten Temperatur in zitternde Bewegung, und wird danach unter reichlicher Dampfentwickelung zersprengt. Ich isolirte einen kleinen Platinlöffel mit runder Höhlung, und brachte ihn mit dem Stifte eines Säulenelektroskops in Verbindung; unter den Löffel war eine Berzeliuslampe gestellt, die schnell entfernt werden konnte. Als der Löffel weifsglühend war, wurde er durch eine Pipette mit einer Kochsalzlösung gefüllt, und die Lampe entfernt. Die Lösung rotirte im Löffel, und wurde unter Verdampfung zersprengt, ohne dafs das Elektroskop Anzeige von Elektricität gab. Wiederholte ich hingegen den Versuch, nachdem auf den Löffel ein hohler Cylinder aus Platinblech, 17 Lin. hoch, 5 breit, gestellt war, so kam bei der Zersprengung der Flüssigkeit starke negative Elektricität zur Anzeige. In dem letzten Versuche rieb nämlich die zersprengte Flüssigkeit gegen die Wand des aufgesetzten Cylinders, und erregte dadurch Elektricität.

948 Es ist hiernach klar, weshalb Saussure bei seinem Versuche mit glühendem Eisen, das in Wasser geworfen wurde, eine Kaffeekanne gebrauchte, in der sich wenig Wasser befand. Das durch das glühende Metall zersprengte Wasser mufste, um die von ihm beobachtete starke Elektricität zu erregen, eine hohe Wand finden, die es reiben konnte. Die in den Versuchen des vorigen Paragraphs an der Tiegelwand geriebenen Wassertheile werden, nach dem Grundsatze der Elektricitätserregung, mit der Wand entgegengesetzt elektrisch, und

[948] es kann daher, wenn diese Theile an der Wand haften bleiben, keine Elektricität zum Vorschein kommen. Daher müssen bei einem gelungenen Versuche die Wassertheilchen über die Tiegelwand fortgleiten, ohne sie zu benetzen. Das Platin wird, wenn es eine gewisse hohe Temperatur besitzt, vom Wasser nicht genetzt, wohl aber, wenn es unter diese Temperatur erkaltet ist. Reines Wasser giebt im Platintiegel keine Elektricität, welche Salzlösung giebt, weil diese bei einer höheren Temperatur zersprengt wird als Wasser. Rauhe Körper befördern die Explosion des reinen Wassers. Reich[1]) brachte mit destillirtem Wasser, das in einem leeren Platintiegel nicht wirkte, Elektricität hervor, wenn der Boden des Tiegels mit Sand, Porzellanstückchen, oder anderen rauhen Körpern bedeckt war. Aus demselben Grunde bewirkte das Einlegen von zusammengerolltem Platindrath in den Tiegel eine reichliche Entwickelung von Elektricität durch reines Wasser. Bei Tiegeln aus oxydablen Metallen gelingt der Versuch ohne Weiteres mit reinem Wasser, läſst aber, wie wir gesehen haben (§. 946.), den Tiegel bald positiv, bald negativ elektrisch zurück. Dies kann nicht auffallen, da auch bei dem Reiben der Metalle mit Halbleitern die erregte Elektricitätsart im Zeichen wechselt, je nach der Beschaffenheit der Metalloberfläche (§. 919.).

949 Versuche mit Dampfstrahlen. In den vorgetragenen Versuchen hatten die angewandten Flüssigkeiten eine zwiefache Bestimmung zu erfüllen, sie lieferten zu gleicher Zeit die feuchten Theile, welche die Tiegelwand rieben, und den Dampf, der die Reibung vollzog. Man kann diese beiden Bestimmungen trennen, den Dampf, der als Triebkraft dienen soll, in einem Kessel erzeugen, und damit die Versuche einfacher machen und leichter ändern. In einer Untersuchung Faraday's[2]), die in dieser Weise angestellt wurde, ist Folgendes das Bemerkenswertheste. Es wurde ein Dampfkessel angewendet, der 40 Quart Wasser hielt, von dem die Hälfte verdampft werden konnte; an ihm war eine 4½ Fuſs lange Metallröhre befestigt,

[1]) Abhandl. bei Begründung d. sächs. Gesellsch. 1846.* 199.
[2]) *Exper. research** *Ser.* 18. Pogg. Annalen 60. 319.

[949] die in einen Hahn und eine davor geschraubte Hohlkugel (Dampfkugel) von 32 Kubikzoll Inhalt endigte (Fig. 178.). An die Dampfkugel konnten verschiedene Mundstücke angesetzt werden, an welchen der ausströmende Dampf gerieben wurde. Der elektrische Zustand des Dampfes konnte untersucht werden, wenn man ihn in einer Röhre mit mehreren Zwischenwänden aus Drathgaze auffing; doch war es bequemer, den, jenem stets entgegengesetzt elektrischen, Zustand des Kessels zu untersuchen, der die Elektricität des daran befestigten Mundstückes durch Mittheilung erhielt. Hierzu war der Kessel auf 3 Lackblöcken isolirt, und mit einem Elektroskope in Verbindung gesetzt. Die Heizung des Kessels geschah in seinem Inneren, und hinderte seine Isolirung nicht. Indem der Dampf mit einem Drucke, der den Atmosphärendruck nie um mehr als $\frac{2}{5}$ überstieg, aus dem Kessel strömte, verdichtete sich ein Theil davon in der Dampfkugel zu Wasser, während das Uebrige durch das Mundstück ins Freie strömte. In den ersten Momenten des Ausströmens fand, wenn das Mundstück erwärmt war, keine Elektricitätserregung statt, weil alsdann nur trockener Dampf das Mundstück rieb. Enthielt hingegen die Dampfkugel aus dem Dampfe verdichtetes, oder von Aufsen hineingebrachtes, Wasser (ungefähr 4 Unzen), so war die Elektricitätserregung sehr stark.

950 Elektricität wird also nur dann erregt, wenn der Dampfstrahl Wassertheile mit sich führt, die an den Wänden des Mundstückes gerieben werden. Stoff und Form dieses Mundstückes sind von grofsem Einflusse. Bei Anwendung einer gläsernen, metallenen oder hölzernen Röhre, die als Mundstück in die Dampfkugel geschraubt war, wurde der Kessel stark negativ, der ausströmende Dampf positiv elektrisch; ein Federkiel oder eine Elfenbeinröhre zur Ausflufsröhre gebraucht, liefs Kessel und Dampf fast ganz unelektrisch. Besonders kräftig wirkte eine Röhre aus Buchsbaumholz, 3 Zoll lang, 0,2 Zoll weit, die mit destillirtem Wasser getränkt war. Ein Mundstück, bei dem die Reibung und die erregte Elektricität sehr stark war, ist Fig. 179 abgebildet. Es besteht aus einer Metallröhre mit Trichterförmiger Erweiterung, in die ein Kegel durch eine Schraube gesenkt werden kann; der Dampf hat den

engen Raum zwischen Kegel und Trichter zu durchlaufen, und reibt daselbst eine grofse Oberfläche. Es wurden Kegel gebraucht aus Messing, Buchsbaum, Büchenholz, Elfenbein, Leinen, Kasimir, weifser Seide, Schwefel, Kautschuk; geölter Seide, lackirtem Leder, geschmolzenem Kautschuk und Harz, indem diese Stoffe theils massiv, theils als Ueberzug eines Holzkegels benutzt wurden. Mit jedem von diesen Kegeln wurde der Kessel negativ, der ausströmende Dampf positiv elektrisch gefunden, so dafs also überall das in dem Dampfe befindliche concrete Wasser durch Reibung an jene Stoffe positiv elektrisch geworden sein mufste. [950]

951 Um dies direct zu bestätigen, liefs Faraday den Dampfstrahl aus einer Elfenbeinröhre austreten, die dadurch nur schwach elektrisirt wurde, und brachte in den Dampf verschiedene Stoffe in Form von Dräthen, Fäden oder Stücken, die an einem Elektroskope geprüft wurden. Die untersuchten Stoffe waren: Platin, Kupfer, Eisen, Zink, Schwefelkupfer, Leinen, Baumwolle, Seide, Wollengarn, Holz, Rofshaar, Bärenhaar, Flintglas, grünes Glas, Federkiel, Elfenbein, Schellack auf Seide, Schwefel auf Seide, Stangenschwefel, Graphit, Holzkohle, Asbest, Cyanit, Hämatit, Bergkrystall, Operment, Schwerspath, Gyps, kohlensaurer Kalk, Flufsspath. Alle diese Stoffe wurden durch den Dampfstrahl negativ elektrisch, aber in verschiedenem Grade, am schwächsten wurden es Bärenhaar, Federkiel und Elfenbein. Benutzte man zu diesen Versuchen einen bereits, durch Reibung an dem Mundstücke, positiv elektrisirten Dampfstrahl, so erhielt man leicht wechselnde Resultate. Sehr nahe der Ausflufsmündung gehalten, wurden die Körper durch den Dampf stark gerieben, und dadurch negativ elektrisch, sehr entfernt davon nahmen sie die Elektricität des Dampfes an, und erschienen positiv. Dazwischen gab es eine Entfernung, in welcher die Körper nicht erregt zu werden schienen.

952 Es ist nöthig, dafs das Wasser, durch dessen Reibung die Elektricität erregt wird, keine Substanz enthält, die dasselbe besser leitend macht. In den mitgetheilten Versuchen war das Wasser durch Condensation in der Dampfkugel entstanden und daher rein; als Faraday in die Kugel einen

[952] kleinen Krystall von Glaubersalz, Kochsalz, Salpeter oder ein Stück Kali, einen Tropfen Schwefelsäure, Schwefeläther, Holzessig oder Borsäure brachte, hörte die Elektricitätserregung auf. Ammoniak, zu dem Wasser gesetzt, störte die Erregung nicht, aber mit Brunnenwasser in der Kugel wurde keine Elektricität erhalten. Alle die Substanzen, welche die Erregung von Elektricität an dem Mundstücke verhinderten, hoben natürlich auch die Erregung auf an den, in den Dampfstrahl gehaltenen, Körpern (§. 951.). Die Zusetzung einiger schlecht leitenden Substanzen zu dem Wasser hatte den merkwürdigen Erfolg, die Elektricitätsart des reibenden Dampfes und des geriebenen Körpers zu verändern. Als einige Tropfen Terpenthinöl in das Wasser der Dampfkugel gebracht waren, wurde der Kessel positiv, der ausströmende Dampf negativ, nach Verflüchtigung des Oeles trat wieder die normale positive Elektricität des Dampfes auf.

953 Zu ähnlichen Versuchen wurde ein neues Mundstück angewendet (Fig. 180.), eine Metallröhre, die sich in der Mitte zu einer Kammer *C* erweiterte, in welche die Substanzen gelegt werden konnten, über die der, in der Dampfkngel mit Wassertheilen gemengte, Dampf fortstreichen mufste. Ein ringförmig gedrehtes Stück Segeltuch wurde, mit Terpenthinöl getränkt, in die Kammer gelegt; so lange noch eine Spur von Oel daran war, wurde der Kessel positiv, der austretende Dampf negativ gefunden. Olivenöl, in die Dampfkugel oder in die Kammer *C* gebracht, hatte einen gleichen, nur länger dauernden Erfolg. Ebenso bewirkten Speck, Wallrath, Wachs, Ricinusöl, Harz in Alkohol gelöst, und Lorbeeröl die anomale Elektricitätserregung, durch die der Kessel positiv, der Dampf negativ wurde. Um die normale Erregung ungestört zu beobachten, mufs daher jede Oelung von Theilen des Apparates möglichst vermieden werden. — Die normale Wirkung des Dampfes schien erhöht zu werden, wenn zum Wasser in der Dampfkugel zugesetzt wurde: Schwefelkohlenstoff, Naphtalin, Schwefel, Kampher, geschmolzenes Kautschuk; doch waren die Resultate nicht sicher.

954 Versuche mit Luftströmen. Der trockene Wasserdampf, der in den besprochenen Versuchen zur Triebkraft für

die Wassertheilchen benutzt wurde, kann durch zusammengepreſste Luft ersetzt werden. Faraday[1]) gebrauchte eine Kupferbüchse von 46 Kubikzoll Inhalt, die mit zwei Hähnen versehen war. Der eine Hahn diente zur Anbringung einer Compressionspumpe, durch welche Luft (nahe 150 Kubikzoll) in die Büchse gepreſst wurde, der andere zur Auslassung der Luft in ein davor geschraubtes Mundstück (§. 950.). Der Apparat wurde mit Aetzkali sorgfältig von öligen und harzigen Theilen gereinigt. Wenn gewöhnliche Luft gegen ein Kegelmundstück (Fig. 179.) getrieben wurde, so wurde der Kegel, der aus Messing oder Holz bestand, negativ elektrisch; nur ein Stück Eis, von der Luft gerieben, wurde positiv. In gewöhnlicher Luft ist aber stets Wassergas enthalten, das bei plötzlicher Ausdehnung der Luft zu Wasser condensirt wird; dies zeigte sich durch den Nebel, der im Luftstrome entstand, und durch das Beschlagen der hinein gehaltenen Körper. Als 4 bis 5 Unzen Aetzkali in die Büchse gelegt waren, und die comprimirte Luft, einige Zeit damit in Berührung gelassen, vollkommen getrocknet war, konnte mit ihr keine Elektricität erregt werden, zum Beweise, daſs die Erregung der Elektricität in den ersten Versuchen nur durch die der Luft beigemengten Wassertheile ausgeführt wurde. Es wurde das Mundstück mit der Kammer (Fig. 180.) vor der Luftbüchse angebracht, und in die ausströmende getrocknete Luft ein Metallkegel gehalten. War Brunnenwasser, eine verdünnte Salzlösung, sehr verdünnte Säure oder Ammoniaklösung in die Kammer geschüttet worden, so blieb der Kegel im Luftstrome unelektrisch; er wurde negativ, wenn sich destillirtes Wasser, und positiv, wenn sich Wasser und Terpenthinöl, oder Baumöl, oder alkoholische Harzlösung in der Kammer befand. Die Luft verhielt sich daher in allen Stücken dem trockenen Wasserdampfe gleich. [954]

955 Erregungen ähnlicher Art. Der folgende Fall von Elektricitätserregung kann ebenfalls der Reibung von Wassertheilen gegen feste Körper zugeschrieben werden. Elice[2])

---

[1]) *Exper. research.** *al.* 2129.

[2]) *Due lettere di Sg. Elice* 1843.*

[955] feuerte eine, mit oder ohne aufgesetzten Papierpfropf geladene, Flinte gegen eine 1½ Fuſs entfernte Kupferscheibe ab, und fand diese positiv elektrisch. Dieselbe Elektricitätsart erhielten andere Scheiben aus leitendem oder isolirendem Stoffe durch den Schuſs. Auch mit einer Windbüchse gelang der Versuch, aber nur, wenn die Scheiben einige Zolle von der Mündung der Büchse entfernt waren. Bei der Reibung flüssiger Kohlensäure gegen feste Körper wird ebenfalls Elektricität erregt. Jolly isolirte eine eiserne Flasche, in welcher sich flüssige Kohlensäure befand, die er nach unten ausströmen lieſs. Die Flasche wurde dabei so stark elektrisch, daſs aus ihr Funken gezogen werden konnten.

956 Die Hydro-Elektrisirmaschine. Wir sind nun im Stande, die merkwürdige Elektricitätserregung an der Dampfmaschine (§. 946.) abzuleiten. Ein Theil des Sicherheitsventils hatte, wie die Dampfkugel in Faraday's Versuchen, Dampf zu Wasser condensirt, der nachströmende Dampf dies Wasser aufgenommen, und gegen das Ausgangsrohr des Ventils gerieben, und hierdurch Elektricität erregt. Eine Elektrisirmaschine, die sich dort zufällig gebildet hatte, kann absichtlich construirt werden, wie es Armstrong [1]) gethan hat, dessen Hydro-Elektrisirmaschine wol die ergiebigste Maschine ist, die jemals bestanden hat. Ein auf 6 Glasfüſsen isolirter Röhrendampfkessel (wie an der Locomotive) bildet den Haupttheil der Maschine (Fig. 181.). Der Kessel ist von auſsen cylindrisch, 6½ Fuſs lang, 3½ Fuſs breit, und enthält in seinem Inneren die Feuerstelle und den Aschenfang. Durch die Röhren *FF* tritt der Dampf aus dem Kessel in den Kanal *GG*, und von dort durch 46 gebogene Eisenröhren in die Luft; durch jeden der beiden Hebel *K* wird der Ausgang zu 23 Röhren geöffnet. Die übrigen Theile am Kessel dienen theils zur gehörigen Speisung desselben, theils zur Sicherheit, und kommen an jedem Dampfkessel vor. Eine besondere Einrichtung erhielten die Mundstücke an den Ausfluſsröhren. Jede Röhre endigt conisch, und ist vor ihrem Ende durch ein Quer-

[1]) *Philos. magazine* 3 *ser.* 23. 194. Lardner *manual of electr. Lond.* 1844.* 2. 90. Poggendorff Annalen* 60. 352.

stück *aa* (Fig. 182.) unterbrochen, in dem ein Seitenschlitz [956] von $\frac{1}{50}$ Zoll Breite und ein centrales Loch von $\frac{1}{10}$ Zoll Weite angebracht ist. Der Raum zwischen diesem Querstücke und dem Ende der Röhre wird durch einen durchbohrten Pflock aus hartem Holze (*partridge-wood*) *bb* ausgefüllt, der durch eine übergreifende Kappe an dem Ende der Röhre festgestellt ist. Fig. 182 zeigt das Querstück und den Holzpfropf in natürlicher Gröfse, Fig. 183 das ganze zusammengesetzte Mundstück verkleinert. Bei dem Spiele der Maschine wird ein Theil des Dampfes in der Biegung der Eisenröhren condensirt, der übrige Dampf tritt, mit Wasser gemengt, durch das Querstück in den Holzkanal, wo er durch Reibung Elektricität entwickelt. Man läfst den Dampf nach seinem Austritte gegen einen, mit einer Reihe von Metallspitzen besetzten, Rahmen strömen, der zur Erde abgeleitet ist. Kommt es nicht darauf an, lange Funken zu erhalten, so wird dieser Rahmen dicht vor die Ausflufsöffnungen gestellt, im anderen Falle 3 bis 4 Fufs davon entfernt. Die negative Elektricität des Kessels, die man benutzt, wird durch einen am Kessel befestigten Metallstab zu der Versuchsstelle geleitet. Die 22 Zoll langen Funken, welche diese Maschine lieferte, können auch von Glas- und Zeug-Maschinen erhalten werden, aber die Geschwindigkeit, mit welcher die Maschine Batterien lud, ist sonst niemals erreicht worden. Einer der auffallenden Zersetzungsversuche, die Armstrong mit seiner Maschine angeblich ausgeführt hat, ist bereits früher (§. 611.) angeführt worden.

Elektricitätserregung bei der Verbrennung.

Elektricitätserregung an flammenden Körpern. 957 Dafs die mit Flamme brennenden Stoffe Elektricität entwickeln, kann schon aus den früher mitgetheilten (§. 552.), von Brande angestellten, Versuchen entnommen werden, nach welchen von den Flammen, die zwischen zwei entgegengesetzt elektrischen Kugeln stehen, einige sich nach der positiv, andere nach der negativ elektrischen Kugel hinneigen. Es werden hierdurch die ersten Flammen als negativ, die zweiten als positiv elek-

[957] trische bezeichnet. Aber diese Elektricität der Flammen am Elektroskope nachzuweisen, hat große Schwierigkeit. Giebt man dem brennenden Körper eine Ableitung zur Erde, und bringt man in die Flamme einen isolirten Platinstreifen mit daran befestigtem Drathe, dessen Ende an die isolirte Platte eines Condensators angelegt wird, so erhält man zwar leicht eine Ladung des Condensators, aber von sehr veränderlicher Stärke, häufig auch von veränderlichem Zeichen. Es ist dies erklärlich durch die Wandelbarkeit der Flamme selbst, durch das Leitungsvermögen der feuchten Gase und ihre Eigenschaft, die Elektricität sehr schnell in die Luft zu zerstreuen (§. 263.). Die bisherigen Untersuchungen der Elektricität der Flamme haben daher keine befriedigenden Resultate geliefert. Pouillet [1]) nahm einen elektrischen Gegensatz in jeder Flamme von außen nach innen an. Eine 4 bis 5 Lin. breite Wasserstoffflamme wurde mit einer vertical stehenden Platinspirale umgeben, und das Ende des daran befestigten Platindrathes an einen Condensator angelegt, der dadurch mit positiver Elektricität geladen wurde. Eine andere, viel engere Spirale, in das Innere der Flamme gebracht, lud den Condensator mit negativer Elektricität. Daraus wird geschlossen, daß die äußere Hülle der Flamme und die sie umgebende Luftschicht, deren Dicke auf 10 Millimeter geschätzt wird, positiv, das Innere der Flamme negativ elektrisch sei. Einige Zolle über der Flamme fand Pouillet beide Elektricitätsarten. Brannte die Flamme aus einem Metallrohre, so lud dies den Condensator mit positiver Elektricität. Aehnliche Resultate wurden bei Flammen von Alkohol, Wachs, Aether, Oel und Fett erhalten. Hankel [2]) folgerte aus anderen Versuchen einen Gegensatz in der Flamme von oben nach unten. Ein Platinblech, über eine Wasserstoffflamme gehalten, die aus einer mit der Erde verbundenen Metallröhre brannte, lud einen Condensator (von 91 Lin. Durchmesser) mit positiver Elektricität, wie es schien am stärksten, wenn die Spitze der Flamme das Blech berührte. In die Flamme selbst gehalten wurde das Blech schwä-

[1]) *Annales de chimie et de phys.* 35. 401. Poggend. Annal.* 11. 426.
[2]) Poggend. Annal.* 81. 220.

cher positiv elektrisch, und in einer gewissen Tiefe negativ. [957]
Ueber einer Alkoholflamme wurde hingegen negative Elektricität aufgesammelt, und das Gefäfs, in welchem der Alkohol brannte, war positiv. Eine Alkohollampe mit doppeltem Luftzuge wurde isolirt; ein in die Spitze der Flamme getauchter Platindrath lud den Condensator nicht. Als die Lampe mit der Hand berührt wurde, erhielt der Condensator negative Elektricität, hingegen positive, wenn die Hand über die Flamme gehalten wurde. Nach Verbindung des Platindrathes mit dem einen, der Lampe mit dem andern Ende eines Multiplicatordrathes von 12076 Windungen und 16454 Fufs Länge, wurde die Nadel des Multiplicators abgelenkt in dem Sinne eines in der Flamme von oben nach unten gehenden Stromes.

958 Elektricitätserregung an glimmenden Körpern. Mit bei Weitem gröfserer Zuverlässigkeit läfst sich die Elektricität der nur glimmenden Körper nachweisen, im Falle, dafs bei ihnen das Leitungsvermögen der aufsteigenden Gase nur gering ist. So sah Volta[1]) mit Lavoisier und Laplace bei seiner Anwesenheit in Paris, am 13. April 1782, zuerst die durch glimmende Kohlen erregte Elektricität. Eine isolirte Metallscheibe, auf die mehrere Wärmebecken mit glühenden Kohlen gestellt waren, lud einen damit verbundenen Condensator mit negativer Elektricität. Später führte Volta[2]) den Versuch ohne Condensator aus. Er setzte einen kleinen Ofen auf ein isolirendes Gestell, und bedeckte darin einige glühende Kohlen mit kalten Kohlen, bei deren Anbrennen sich die Elektricität des Ofens an einem Strohhalmelektroskope aufweisen liefs. Die Verbrennung durfte aber nicht zu heftig sein; war der Zug im Ofen zu stark, so verminderte sich die Elektricität, und verschwand, wenn eine Flamme auf den Kohlen erschien. Dieser Versuch wurde aber später zu den zweifelhaften gezählt, und Pouillet[3]) nahm wieder Zuflucht zum Condensator. Auf eine isolirte, mit einem Condensator verbundene, Metallplatte wurden mehrere breite Kohlencylinder gestellt, und an ihrer oberen Fläche angezündet. Der Con-

---

[1]) *Philos. transact.* 1782. *Collezione dell' op.** I_1. 271.
[2]) Meteorolog. Briefe.* 200.
[3]) Poggend. Annal.* 11. 422.

[958] densator lud sich mit negativer Elektricität. War eine Metallplatte in einiger Höhe über den Kohlen angebracht und mit dem Condensator verbunden, so erhielt dieser positive Elektricität, die der von den Kohlen aufsteigenden Kohlensäure zukam. Der Versuch ist ohne Condensator leicht am Säulenelektroskope anzustellen, auf dessen Teller Kohlenkerzen (geruchlose Räucherkerzen) gestellt werden. Man erhält gleich nach dem Anzünden der Kerzen Anzeige von negativer Elektricität. Ein Dach von Drathgaze, das durch einen Metallarm seitlich an dem Stifte des Elektroskops befestigt ist, zeigt, von dem Dampfe darunter gestellter glimmender Kohlenkerzen getroffen, positive Elektricität. Gleichen Erfolg hat man mit Feuerschwamm, Lunte u. s. w. Besonders lehrreich ist die Elektricitätserregung durch eine Glühlampe, die ich bereits früher (§. 271.) mitgetheilt habe.

Elektricitätserregung bei chemischen Processen.

959 Bei verpuffenden Salzen. Wenn bei Zersetzung eines Salzes ein fester Stoff durch plötzliche Gasentwickelung umhergeworfen wird, so reibt dieser nothwendig das Gefäfs, und es kann nicht auffallen, wenn man Gefäfs und zerstreuten Staub entgegengesetzt elektrisch findet. Der Versuch ist leicht mit dem oxalsauren Silberoxyde anzustellen, an dem diese Erregung zuerst von Döbereiner [1]) nachgewiesen worden ist. Es wurde das Salz durch ein Brennglas auf dem Teller eines Goldblattelektroskops erhitzt, das bei dem Zerstäuben des Salzes starke Elektricität anzeigte, hingegen unbewegt blieb, wenn das Salz unter Bedeckung mit einem Uhrglase zersetzt wurde. Man sieht, dafs in dem letzten Falle die Reibung des Silbers gegen den Teller des Elektroskops beschränkt war, und zugleich dem Elektroskope beide Elektricitäten zugeführt wurden. Ich brachte eine kleine Portion des genannten Salzes in einen glühenden Platinlöffel, der mit dem Stifte eines Säu-

---

[1]) Gilbert Annalen* 67. 332.

lenelektroskops in Verbindung stand. Das reducirte Silber [959] wurde mit Heftigkeit aus dem Löffel geworfen, und das Elektroskop gab negative Elektricität an. Liefs ich das Salz unter einem Dache von Drathgaze verpuffen, so wurde dies positiv elektrisch. Bei dieser Klasse von Erregung sind, wie bei der Reibung von Metall durch platzende Tropfen, besondere Bedingungen zu erfüllen, damit die erregte Elektricität merklich werde. So sah Döbereiner bei der Verpuffung von oxalsaurem Quecksilberoxydul, oxalsaurem Ammoniakkupfer, Brugnatellischem Knallsilber nur sehr schwache Elektricität auftreten. Böttger[1]) fand bei Knallgold, dem pikrin-salpetersauren Baryte, Kali und Natron, dem knallsauren Silberoxyd, oxalsauren Quecksilber, keine Elektricitätserregung, hingegen eine starke bei citronsaurem Silberoxyd, und bei krystallisirtem salpetersauren Kupferoxyd. Das zuletzt genannte Salz wurde, in durchlöchertes Stanniol gewickelt, auf den Teller des Säulenelektroskops gelegt und mit Wasser benetzt; bei dem Beginnen der Zersetzung wurde negative Elektricität im Elektroskope frei. Schweigger[2]) fand, als er Knallsilber auf dem Teller des Säulenelektroskops durch Schwefelsäure explodiren liefs, positive Elektricität, aber keine Elektricität, wenn er die Explosion durch Erhitzung des Tellers bewirkte. Oxalsaures Quecksilberoxydul gab im Elektroskope negative Elektricität, wie das gleiche Silbersalz. Schiefspulver, chlorsaures Kali mit Schwefel, oxalsaures Ammoniakkupfer lieferten bei ihrer Verpuffung keine Elektricität.

Elektricität bei chemischer Zersetzung. Die 960 eigentlich chemische Zersetzung wird durch chemische Verwandtschaft eines der Bestandtheile der zersetzten Substanz herbeigeführt, und ist daher stets von einer Verbindung begleitet, welche dieser Bestandtheil eingeht, während häufig ein anderer Bestandtheil frei wird. Wenn dieser freiwerdende Bestandtheil gasförmig ist, tritt in vielen Fällen eine Elektricitätserregung ein. Die früheste Beobachtung dieser Erregung ist von Lavoisier und Laplace[3]) gemacht worden, welche

[1]) Poggend. Annal.* 50. 43.
[2]) Schweigger Journal* 51. 80.
[3]) *Mém. de l'acad. Paris* 1781. 202.

[960] die erste Kenntnifs, die sie durch Volta von dem Condensator erhielten, zur Prüfung der Zersetzung auf Elektricität benutzten. Auf eine, mit dem Condensator verbundene, isolirte Metallplatte wurden mehrere (bis sechs) Gefäfse gestellt, in welchen die Zersetzung stattfand. Eisenfeilicht wurde mit Schwefelsäure oder Salpetersäure, Kreide mit Schwefelsäure übergossen; der Condensator wurde dabei mit negativer Elektricität geladen, die bei der Entwickelung des Wasserstoffgases so stark war, dafs aus der Collectorplatte ein Funke gezogen werden konnte. Bei dieser, mit heftiger Gasentwickelung verbundenen, Zersetzung könnte man an eine Reibung des Gefäfses denken, die durch die von den Gasen fortgerissenen Wassertheile bewirkt würde. Aber spätere Versuche haben Elektricität bei Zersetzungen aufgezeigt, in welchen die Gasentwickelung kaum merklich ist. Man kann sich davon an einem Säulenelektroskope überzeugen, auf dessen Teller ein Platintiegel, mit einer verdünnten Säure gefüllt, gestellt worden ist. Taucht man in die Säure einen Streifen Zink, Eisen, oder einer andern angreifbaren Substanz, so kommt sogleich positive Elektricität zur Anzeige, die der angreifenden Säure zugehört.

961 Die Elektricitätserregung durch chemische Zersetzung, obgleich sie nie bezweifelt werden konnte, ist Gegenstand einer Menge von Untersuchungen geworden, weil man über die Rolle, welche die Zersetzung bei der Erregung des volta'schen Elementes spielt, nicht klar war, und bis heut nicht klar geworden ist. Der Versuch selbst unterliegt in vielen Fällen Schwierigkeiten, die besonders grofs waren vor Erfindung der empfindlichen Elektroskope, wo man sich mehrfacher Condensationen durch Duplicatoren bedienen mufste, um nur eine elektrische Anzeige zu erhalten. Es wurden daher über die Elektricitätsart, die bestimmte Körper bei chemischer Aenderung annehmen, verschiedene Angaben gemacht. Die Untersuchungen von Becquerel[1]), C. J. B. Karsten[2]), Pfaff[3]) und de la Rive[4]) ergeben in ziemlicher Uebereinstimmung, dafs ein Körper, der von einer Flüssigkeit chemisch verändert wird,

[1]) *Annales de chimie et de phys.** 17. 5. [2]) Ueber Contactelektricität. Berlin 1836.* 4 und 7. [3]) Revision d. Galvano-Voltaism. Altenb. 1837.* 49. [4]) *Biblioth. universelle** 3. 375.

zumeist *negativ* elektrisch, die angreifende Flüssigkeit positiv [961] wird. Die untersuchten Stoffe waren gewöhnlich metallisch, doch hat de la Rive auch Holz, Kork, Wachs, Leim, Zucker geprüft. Die Concentration der angreifenden Flüssigkeit hat oft Einfluſs auf die erregte Elektricität. Buff [1]) befestigte auf dem Stifte eines Säulenelektroskops eine gefirniſste Scheibe von dem zu prüfenden Metalle, die in einen gleichartigen biegsamen Metallstreifen auslief. Auf die Scheibe wurde eine dünne Glasplatte, und auf diese ein mit der zu prüfenden Flüssigkeit getränktes Flieſspapier gelegt. War der Metallstreifen einen Augenblick auf das feuchte Papier gesetzt, und die Glasplatte abgehoben worden, so gab das Elektroskop die Elektricität des geprüften Metalles an. Platin, vergoldetes Messing, Kupfer, Eisen, Zink, wurden durch Kalilösung negativ; durch verdünnte Schwefelsäure wurden Zink, Eisen, Kupfer negativ, hingegen Gold und Platin positiv; verdünnte Salpetersäure gab dieselben Resultate, nur daſs Kupfer damit unelektrisch blieb; durch concentrirte Salpetersäure hingegen wurde Platin, Gold, Kupfer und Eisen positiv, Zink gab keine sicheren Resultate. Pfaff [2]) hat über die Stärke der negativen Elektricität, welche Metalle bei dem Eintauchen in verschiedene Flüssigkeiten annehmen, die folgenden Angaben gemacht, in welchen die Metalle nach abnehmender Erregung geordnet sind. *Aetzkali- und Natrumlösung*: Zinn, Zink, Silber, Blei, Antimon, Kupfer, Platin. *Aetzammoniak* (spec. Gew. 0,923): Kupfer, Zink, Gold, Silber, Zinn, Blei. *Salpetersäure*: Zink, Zinn, Blei, Kupfer, Silber, Platin. *Schwefelsäure* (spec. Gew. 1,32), *Salzsäure, schwefelsaure Zinklösung* wie Salpetersäure. *Jodkaliumlösung*: Zink, Zinn, Blei, Antimon, Wismuth, Kupfer. *Schwefel-Kali, -Natrum, -Baryt, -Kalk*: Silber, Kupfer, Blei, Eisen, Zinn, Zink. *Concentrirte Salpetersäure* machte alle Metalle positiv elektrisch, *conc. Schwefelsäure* Gold, Platin, Kupfer positiv, die übrigen Metalle negativ.

Diese Resultate wurden durch mühsame Versuche erhal- 962 ten, indem das geprüfte Metall an einen Condensator von

---

[1]) Wöhler u. Liebig Annalen d. Pharmac.* 42. 6.

[2]) Revision u. s. w. Poggend. Ann.* 51. 121.

[962] 8 Zoll Durchmesser, der aus demselben Metalle bestand, angelegt, die Collectorplatte desselben an einen Condensator von 2 Zoll Durchmesser angelegt, und zuletzt die Collectorplatte des kleinen Condensators untersucht wurde. Der geprüfte Metallstreifen stand in einer, mit der geprüften Flüssigkeit gefüllten zweischenkligen Glasröhre. Da diese Flüssigkeit mit dem Metalle entgegengesetzt elektrisch wurde, so war es nöthig, ihre Elektricität fortzuschaffen, damit die Elektricität des Metalles nicht zu schwach erscheine. Die Ableitung der Flüssigkeit geschah durch einen in die Glasröhre gestellten Holz- oder Metallstab, so dafs sich also in der Flüssigkeit zwei starre Körper befanden, von welchen jeder für sich nach der Regel (§. 961.) negativ wird. Es findet aber das, für die Theorie der voltaischen Säule wichtige, Gesetz statt, dafs wenn von zwei Körpern, welche in verschiedener Stärke elektrisch werden, der stärker erregbare eine Ableitung erhält, der minder erregbare die Elektricität der Flüssigkeit annimmt. Als Pfaff z. B. einen Kupfer- und einen Zinkstab einzeln in eine saure Flüssigkeit tauchte, wurde jeder negativ elektrisch; befanden sich aber beide Stäbe gleichzeitig in der Flüssigkeit, und leitete er den Zinkstab zur Erde ab, so lud das Kupfer den Condensator mit positiver Elektricität. Hieraus ergiebt sich zugleich die Nothwendigkeit, dafs, wenn man die Elektricität einer Flüssigkeit untersucht, die sich in einem Tiegel auf dem Säulenelektroskope befindet (§. 960.), dieser Tiegel aus Platin bestehe, das von allen Metallen am schwächsten durch eine Flüssigkeit erregt wird.

Bei chemischen Verbindungen ist keine Elektricität bisher bemerkt worden. Davy [1]) untersuchte Eisen, das in Sauerstoff verbrannte, Kali, das sich mit Schwefelsäure, Zink, das sich mit Quecksilber verband, ohne durch den Condensator eine Spur von Elektricität zu finden. Zwar hat de la Rive [2]) eine Kupferröhre, durch die Chlorgas getrieben wurde, elektrisch gefunden, doch war dabei die Reibung nicht ausgeschlossen.

[1]) Gehlen Journ. f. Chemie 5. 52.
[2]) *Biblioth. universelle* 8. 375.

Elektricitätserregung durch Berührung.

963 Eine der merkwürdigsten Bedingungen der Elektricitätserregung ist, nach Volta's Entdeckung, die Berührung verschiedenartiger Körper. Es giebt wenige physikalische Thatsachen, die so oft untersucht worden wären, als diese Erregung, die eine besondere Wichtigkeit in der Lehre vom Galvanismus erhalten hat. Der Versuch, Elektricität bei Berührung verschiedenartiger Metalle nachzuweisen, ist Volta's Grundversuch genannt, und vom Erfinder und Anderen mit Hülfe von Duplicatoren und Condensatoren angestellt worden. Kommt es nur darauf an, den Versuch an einem dazu gewählten Metallpaare anzustellen, so genügt, wie Fechner[1]) gezeigt hat, das einfache, von uns schon häufig angewandte, Säulenelektroskop. Man setzt auf eine, an den Stift des Instruments geschraubte, horizontale Kupferscheibe von etwa $2\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser, eine blanke, an einem Glasstiele isolirte Zinkscheibe; bei behutsamem parallelen Abheben der Zinkscheibe zeigt das Goldblatt negative Elektricität an. Die abgehobene Zinkscheibe ist positiv, wie man zeigen kann, indem man die Scheibe an den Stift des Elektroskops oder an einen Theil der darauf geschraubten Kupferscheibe anlegt. Durch gegenseitige Berührung der beiden Scheiben ist also Zink positiv, Kupfer negativ geworden; denn dafs nicht etwa die Trennung der Scheiben oder eine dabei stattfindende Reibung Ursache der beobachteten Elektricität ist, erkennt man daraus, dafs keine Elektricität merklich wird, wenn man die aufgesetzte Zinkscheibe durch seitliches Abschieben von der Kupferscheibe trennt. Es läfst sich, wie hieraus zu schliefsen, keine Elektricität nachweisen, wenn man die beiden Scheiben, statt mit ihrer ganzen Fläche, nur mit einem kleinen Theile derselben einander berühren läfst, und es scheint demnach, als ob die erregte Elektricität zunähme mit der Gröfse der Flächen, die mit einander in Berührung gesetzt sind. Dies ist aber nicht der Fall.

964 Volta[2]) liefs über der Fläche einer Silberscheibe drei

---

[1]) Poggend. Annal.* 41. 232.

[2]) *Collezione dell' opere** II_2. 59. *Lettere a Gren* §. 73. Die drei in fortlaufende Paragraphe getheilten Briefe an Gren sind vollständig übersetzt in Ritter's Beiträgen zum Galvanismus Bd. 1.

[964] Silberspitzen hervorstehen, auf die eine Zinkscheibe gelegt wurde. Betrug die Luftschicht zwischen den beiden einander parallelen Scheiben $\frac{1}{10}$ Lin. oder weniger, so konnte die Elektricität, welche jede von ihnen durch die Berührung in den drei Spitzenpunkten angenommen hatte, nach ihrer Trennung am Condensator aufgezeigt werden. Wurde hingegen die Zinkscheibe mit einem kleinen Theile ihrer Fläche auf die Silberscheibe gelegt und von ihr getrennt, so war keine Elektricität nachweisbar, obgleich bei Weitem mehr Punkte der beiden Flächen zur Berührung gekommen waren, als im ersten Versuche. Volta erkannte den Grund dieses Unterschiedes in der condensirenden Wirkung, welche die Scheiben wechselseitig ausüben, wenn sie einander parallel liegen, so daſs der Effect desto gröſser ist, in je gröſserer Ausdehnung diese Wirkung stattfindet. So lange zwei Platten einander decken, ist die Elektricität, die sie einem Prüfungsinstrumente abgeben, ebenso unmerklich, wie an den dünnsten Dräthen derselben Metalle, die einander in ihrem Querschnitte berühren; werden aber die Platten getrennt, so verbreiten sich die Elektricitätsmengen, die an ihren einander nächsten Flächen angehäuft waren, über die Platten und können merklich werden, während dies an den von einander getrennten Dräthen, der geringen Menge der condensirten Elektricität wegen, nicht geschieht. Daſs hier zwei Metallflächen, die vollkommen polirt sein können, die Rolle zweier Condensatorplatten spielen, die absichtlich mit einer isolirenden Schicht überzogen sind, kann nicht auffallen, da wir aus den Versuchen mit den Hauchbildern (§. 769.) wissen, daſs auch die anscheinend reinste Metallfläche mit einer fremden Schicht bedeckt ist, die zu durchbrechen die geringen Elektricitätsmengen, um die es sich hier handelt, nicht vermögend sind.

965 Irgend zwei Körper, die in Berührung mit einander stehen, werden entgegengesetzt elektrisch, so daſs der eine Körper einem nahe gebrachten Leiter eine bestimmte Menge der einen, der andere Körper dieselbe Menge der andern Elektricität mittheilen kann. Entzieht man den Körpern diese Elektricität, so stellt sie sich, da die Ursache der Elektrisirung fortdauert, sogleich wieder her. Es bildet daher das kleinste

Paar einander berührender Körper eine unerschöpfliche Elektricitätsquelle, die so lange fliefst, als von beiden dabei thätigen Körpern die Elektricität abgeleitet wird. In dem Versuche des vorigen Paragraphs bildeten die beiden Metallscheiben selbst ihre Ableitung; die durch die Berührung erregte Elektricität wurde durch Condensation nach der inneren Fläche der Scheiben geleitet, und daher war die gelieferte Menge desto gröfser, je gröfser die Scheiben waren, und je näher sie einander standen. Man kann die erregte Elektricität aber auch nach anderen Körpern leiten, und sie dann bemerklich machen, ohne die Berührung der erregten Körper aufzuheben. Es sei ein Zinkdrath mit einem Ende an einen Kupferdrath gelöthet, man halte das Zinkende in der Hand, und lege das Kupferende an die kupferne Collectorplatte eines Condensators an, so wird die abgehobene Collectorplatte negativ elektrisch sein. Hat man einen zinkenen Condensator zur Hand, so kann in gleicher Weise die positive Elektricität des Zinkdrathes nachgewiesen werden, wenn man das Drathpaar an dem Kupferende fafst, und die Collectorplatte mit dem Zinkende berührt. In diesen Versuchen wird die eine Elektricitätsart durch die Hand zur Erde, die andere in die Collectorplatte geleitet, und zwar dauert die Leitung so lange fort, als die angewandte Collectorplatte von einer constanten Elektricitätsquelle noch Elektricität aufnimmt. [965]

966 Belehrender wird der Versuch, wenn das Drathpaar isolirt ist. Alsdann reicht ein einmaliges Anlegen eines Drathendes an den Condensator nicht hin, diesen zu laden, man mufs das Anlegen öfter wiederholen und jedesmal, wenn das Drathpaar entfernt ist, das nicht angelegte Ende desselben ableitend berühren. Nach einer gewissen Anzahl von Berührungen ist der Condensator mit einer bestimmten Elektricitätsmenge geladen, die durch ferneres Anlegen nicht vermehrt wird. Man prüfe z. B. das Kupferende des Drathpaares in dieser Weise. Anstatt das Zinkende nach jedem Anlegen des Kupferendes an den Condensator ableitend zu berühren, kann man es auch an eine isolirte Zinkmasse anlegen, und man bemerkt dann, dafs die Ladung des Condensators desto stärker ausfällt, je gröfser die Zinkmasse ist, und dafs die Ladung niemals so

[966] grofs wird, als wenn man das Zinkende mit der Erde in Verbindung gesetzt hat. Es ist hieraus zu folgern, dafs Kupfer und Zink durch Berührung mit einander entgegengesetzt elektrisch werden, so dafs jedes dieser Metalle einem beliebigen Leiter Elektricität von bestimmter Dichtigkeit liefert, vorausgesetzt, dafs dem andern Metalle eine vollkommene Ableitung geboten wird. Bei anderen Metallen als Kupfer und Zink, ist die Dichtigkeit der Elektricität, die einem Leiter abgegeben wird, eine andere, aber für jeden Fall eine bestimmte.

967 Die Berührungselektricität ist am stärksten bei den guten Leitern, den Metallen und einigen Oxyden, aber sie fehlt nicht bei Anwendung anderer Stoffe. Fechner [1]) hat Zink und Kupfer elektrisch gefunden, die mit gröfster Vorsicht, um jede Reibung zu vermeiden, mit Schwefel, Kreide, Glas, Kalkspath in Berührung gesetzt wurden, Rosenschöld [2]) Zink, das er mit Quecksilberoxydul (einem schlechten Leiter) oder Feuerstein berührt hatte. Es ist kein Grund vorhanden, die Elektricität, die bei Berührung von festen Körpern mit flüssigen bemerkt wird, überall, wie wol geschehen ist, einer chemischen Einwirkung und nicht der Berührung allein zuzuschreiben. Volta [3]) prüfte Silber, Messing, Zink, Zinn, die er mit feuchten Stoffen wie Holz, Häuten, Papier, Ziegelsteinen berührte. Bei gehöriger Benetzung dieser Stoffe mit reinem Wasser wurden jene Metalle, wie die Prüfung am Duplicator ergab, negativ elektrisch. Buff hat am Säulenelektroskope (§. 961.) durch einfache Condensation die negative Elektricität aufgezeigt, welche Platin, Messing, Kupfer, Eisen, Zink durch Berührung mit einem in destillirtes Wasser getauchten Fliefspapiere annehmen. Die zwischen Metallen und Flüssigkeiten durch Berührung erregte Elektricität ist sehr schwach in Vergleich mit der zwischen Metallen unter einander erregten, so dafs man sich, um Berührungselektricität von einem Metalle zu einem andern zu führen, der feuchten Leiter bedienen, und die dabei erregte Elektricität vernachlässigen darf. Hierdurch wird es möglich, mit Einem Condensator die Berührungselek-

---

[1]) Biot Experimentalphysik. Leipz. 1829.* S. 21.
[2]) Poggend. Annal.* 35. 57.
[3]) *Lettere a Gren** §. 78. *Collezione** II_2. 68.

tricität verschiedener Metalle zu prüfen. Wir gebrauchten [967] zu dem Versuche mit dem Kupferzinkdrathe (§. 965.) einen Condensator von Kupfer und einen von Zink, um die Berührung eines Drathes mit einer ungleichartigen Collectorplatte zu vermeiden. Will man nur Einen Condensator, z. B. einen kupfernen, dabei anwenden, so hat man, wenn das Zinkende des Drathpaares an die Collectorplatte angelegt werden soll, diese an der Anlegestelle mit einem, durch destillirtes Wasser befeuchteten, Fliefspapiere zu bedecken.

968 Spannungsreihe bei Berührung. Es ist gezeigt worden, dafs bei der Elektricitätserregung durch Reibung die starren Körper dergestalt in eine Reihe gebracht werden können, dafs aus ihrer Stellung die Art und im Allgemeinen die Dichtigkeit der Elektricität erkannt werden kann, die einer dieser Körper bei der Reibung mit irgend einem andern der Reihe erlangt (§. 929.). Eine solche Spannungsreihe kann auch für die Berührung der starren Körper aufgestellt werden, aber bei Benutzung dieser Reihe ist zu merken, dafs die Stellung eines Körpers darin, noch weit mehr, als früher, veränderlich ist mit der Reinheit seines Stoffes, mit seiner Temperatur und der Beschaffenheit seiner Oberfläche. Einander in der Reihe nahestehende Körper ändern daher leicht ihre gegenseitige Stellung. Zur Construirung einer Spannungsreihe wird eine der beiden folgenden Untersuchungsmethoden angewendet, indem man entweder die *Art* der Elektricität untersucht, die jeder Körper bei der Berührung mit zwei anderen Körpern erhält, oder indem man die *Dichtigkeit* der Elektricität mifst, die jeder Körper mit einem bestimmten Körper annimmt. Die erste Methode, die zugleich allein bei der Reibung angewendet werden kann, gründet sich auf die Eigenschaft der Reihen, dafs jeder Körper mit einem folgenden positiv, mit einem vorhergehenden negativ werden soll. Man wisse bereits von zwei sich berührenden Körpern p und n, dafs p positiv elektrisch wird. Ein neuer Körper x, der mit p positiv wird, ist vor p zu stellen, wird er hingegen negativ, so ist noch zu untersuchen, ob er mit n positiv oder negativ wird, da er im ersten Falle vor, im zweiten nach n zu setzen ist. Durch diese Prüfung sei die Reihe p, x, n bestimmt. Die

[968] Stellung eines neuen Körpers y, der entweder mit p positiv oder mit n negativ wird, ist sogleich bestimmt, wogegen im andern Falle eine neue Prüfung nöthig ist, um auszumachen, ob y vor oder nach x zu setzen sei. Je gröfser schon die festgestellte Reihe ist, desto mehr Prüfungen sind zur Aufnahme eines neuen Körpers nöthig; doch kennt man gewöhnlich aus den Eigenschaften des Körpers ungefähr seine Stellung, und kann sich deshalb mehrere Prüfungen ersparen. Am reinsten erhält man die Resultate, wenn der Condensator, den man anwendet, aus dem zu prüfenden Stoffe besteht, sonst mufs man zwischen dem Condensator und dem angelegten Stoffe ein feuchtes Fliefspapier einschalten.

969 Die zweite Methode zur Aufstellung einer Spannungsreihe beruht darauf, dafs zwei Körper durch Berührung desto stärker elektrisch werden, je entfernter sie in der Reihe von einander stehen. Man nimmt daher ein Metall zum Ausgangspunkte der Reihe, und indem man die Art und Dichtigkeit der Elektricität untersucht, die dieses Metall bei der Berührung mit allen übrigen Metallen annimmt, bestimmt man die Ordnung der Metalle, an der einen oder anderen Seite des ersten Metalles, durch eine einzige Prüfung. Gewöhnlich wird zu diesem Normalmetalle das Zink genommen, das mit allen bisher versuchten Stoffen positiv wird, und man hat dazu nur einen zinkenen Condensator nöthig, an den die übrigen Stoffe unmittelbar angelegt werden. Die Methode verlangt für nahestehende Metalle sehr genaue Messungen der Dichtigkeit, die mit den gewöhnlichen Hülfsmitteln, dem Condensator und Goldblattelektroskope, nicht zu erlangen sind. Die Unsicherheit, die durch Einwirkung einer Flüssigkeit auf das geprüfte Metall entsteht, wird bei dieser Methode nicht vermieden, da das Metall durch einen feuchten Leiter mit der Erde in Verbindung gesetzt werden mufs. Ich theile einige Spannungsreihen mit, in welchen, wie in den für Reibung gegebenen Reihen, jeder Stoff mit dem ihm voranstehenden negativ, mit dem ihm folgenden positiv elektrisch wird.

Volta's Reihe [1]). **970**

Zink
Blei
Zinn
Eisen
Kupfer
Silber, Gold
Graphit, Kohle, Graubraunsteinerz.

Seebeck's Reihe [2]).

Zink
Blei
Zinn
Antimon
Wismuth
Eisen
Kupfer
Platin
Silber.

Zinn und Blei waren polirt. Blei mit rauher Oberfläche wurde, mit polirtem Zinn berührt, negativ. Die Reihe ist bei der Luft-Temperatur, 12 bis 14° R., bestimmt worden, fand sich aber unverändert, wenn die beiden geprüften Metalle *gleich stark* erwärmt wurden. War dagegen nur das eine Metall bis zu einem gewissen Grade erhitzt, so war es *negativ* gegen das kalt gebliebene. Dies gelang selbst bei entfernten Metallen, so daſs z. B. erhitztes Zink durch Berührung mit kaltem Kupfer *negativ* wurde.

Pfaff's Reihe.

Pfaff hat durch die zweite Methode die Spannungsreihe zu verschiedenen Zeiten bestimmt [3]). Aus diesen Bestimmungen läſst sich, wenn man den späteren Angaben den Vorzug vor den früheren giebt, die folgende Reihe bilden.

---

[1]) *Sull' identità del fluido elettr.* §. 15. *Collezione** II_2. 183. [2]) Abhandl. d. berl. Akadem. 1822—23.* 295. [3]) N. Gehler Wörterbuch* 4. 605. Revision d. Volta-Galvan.* 25. Poggendorff Annalen* 51. 210. Parallele d. chem. Theor. Kiel 1845.* 4.

[970]

Zink
Cadmium
Zinn
Blei
Wolfram
Eisen
Wismuth
Arsen
Antimon
Nickel
Kupfer
Silber
Gold
Tellur
Palladium
Platin
leitende Schwefelmetalle
Graphit
Kohle
Graubraunsteinerz.

971 Bei Abweichungen im Einzelnen lehren diese drei, zu verschiedenen Zeiten und mit verschieden vollkommenen Instrumenten ermittelten, Reihen in Uebereinstimmung, daſs die leicht oxydirbaren Stoffe dem oberen, die schwerer oxydirbaren dem unteren Ende der Reihe zugehören. Unter den aufgeführten Stoffen ist das Zink der positivste, Graubraunstein der negativste. Munk af Rosenschöld[1]) hat gefunden, daſs der Braunstein noch positiv wird mit braunem Bleisuperoxyd. Indem er eine Zinkplatte mit mehreren Stoffen in Berührung setzte, fand er durch zunehmende Dichtigkeit der erregten Elektricität die Spannungsreihe:

---

[1]) Poggend. Ann.* 35. 55.

Kupfer [971]
Silber
Kohle
Gold
schwarzes Schwefelquecksilber
Schwefelkies
Braunstein
braunes Bleisuperoxyd.

Das braune Bleisuperoxyd wurde, da es nicht geschmelzt werden konnte, gepulvert in eine Papierhülse geschlagen.

Gesetz der Dichtigkeiten der Spannungsreihe. 972 Die Glieder der Spannungsreihe werden durch ein merkwürdiges Gesetz über die Dichtigkeiten der erregten Elektricität mit einander verbunden, das aus dem folgenden Versuche Volta's [1]) hervorgeht. Es seien mehrere Metalle paarweise Ende an Ende in Berührung gesetzt, und es werde eins der beiden Endglieder am Condensator geprüft, so wird dieser genau eben so stark geladen, als ob alle Mittelglieder fehlten, und die beiden Endglieder einander berührten. Man kann daher von einer Reihe, einander paarweise berührender, Metalle die Mittelglieder ihre Stelle beliebig ändern lassen, oder sie durch andere ersetzen, ohne daſs die Elektricität der Endglieder eine Aenderung erfährt. Betrachten wir den einfachsten Fall, drei einander berührende Metallstäbe A, B, C (Fig. 184.). Das Metall B erhält durch Berührung mit C die elektrische Dichtigkeit $\pm b$, die es dem Metalle A mittheilt. Das Zeichen von b wird durch den Umstand bestimmt, ob B in der Spannungsreihe über oder unter C steht. Das Endglied A erhält aber direct durch Berührung mit B die Dichtigkeit $\pm a$, so daſs die Dichtigkeit von A die algebraische Summe $\pm a \pm b$ sein wird. Diese Summe ist, wie die Erfahrung zeigt, der Dichtigkeit gleich, die A durch directe Berührung mit C erhält. Ebenso lehrt der Versuch, daſs die Dichtigkeit des Endgliedes C, die $= \mp a \mp b$ sein muſs, der Dichtigkeit gleich ist, die C durch Berührung mit A erhält. Diese Betrachtung läſst sich auf eine beliebige Anzahl von Gliedern ausdehnen,

[1]) *Sull' identità del fluido*" §. 28. *Collezione*" II_2. 190.

[972] indem man die Glieder, deren Dichtigkeiten man summirt, von dem Endgliede aus zählt, dessen Dichtigkeit man ausdrücken will. Hat man eine Reihe von Metallen A, B, C, D, E und sucht die Dichtigkeit, die A in directer Berührung mit E annimmt, so ist diese die Summe der Dichtigkeiten, die A mit B, B mit C, C mit D, und D mit E erhält. Die Dichtigkeit von E ist gleich der Summe der Dichtigkeiten, die E mit D, D mit C, C mit B, und B mit A annimmt. Man spricht das Gesetz, das in diesen Beispielen klar geworden ist, in Bezug auf die Spannungsreihe aus: *Die elektrische Dichtigkeit an zwei Stoffen der Spannungsreihe, die mit einander in Berührung gesetzt worden, ist gleich der Summe der Dichtigkeiten an allen zwischen jenen liegenden Paaren.*

973 Wenn man die Dichtigkeit untersuchen will, die zwei Metalle bei ihrer Berührung erhalten, so braucht man nicht die Metalle in unmittelbare Berührung zu bringen, sondern kann sie, in Folge des angeführten Gesetzes, durch einen beliebigen Drath mit einander verbinden. Zugleich folgt aber die Nothwendigkeit, das Metall der Collectorplatte, an der die Berührungselektricität geprüft wird, mit zu den erregenden Metallpaaren hinzuzunehmen. Wollte man z. B. die Elektricität des Zinks an einem Zinkkupferpaare bestimmen, und das Zinkende an eine kupferne Collectorplatte anlegen, so könnte diese nicht geladen werden, weil man, dem Gesetze nach, die Elektricität erhielte, die Kupfer bei der Berührung mit Kupfer annimmt. Da das Gesetz nur für Glieder der Spannungsreihe gilt, zu welcher die feuchten Leiter nicht gehören, so kann man sich, wie schon oben angeführt worden, eines feuchten Papierstreifens bedienen, der zwischen die Collectorplatte und das angelegte Metall gelegt wird. Den im vorigen Paragraphe gegebenen indirecten Beweis des Gesetzes der Dichtigkeiten durch einen directen zu ersetzen, ist sehr schwer. Wenn Volta das Gesetz so einführt, als ob er es durch Messung der Dichtigkeiten verschiedener Metallpaare am Strohhalmelektroskope gefunden habe, so ist dies nur als eine Erläuterung des Gesetzes zu nehmen, da die angewandten Instrumente und Methoden keine Bestimmung der Dichtigkeit zuließen. Erst in neuester Zeit ist ein Vorschlag

gemacht worden, die grofsen Schwierigkeiten zu überwinden, [973] die vergleichbaren Messungen der Dichtigkeit der Berührungselektricität entgegenstehen, damit genaue Zahlenwerthe der Spannungsreihe, und dann durch Summirung den Beweis jenes Gesetzes zu erlangen. Die vorgeschlagene Methode wird durch Folgendes verständlich sein. Man denke sich eine Anzahl von, bis auf den Stoff, gleichen Condensatoren, jeden aus zwei verschiedenen Metallen zusammengesetzt. Werden die beiden Scheiben jedes Condensators einen Augenblick durch einen beliebigen Drath mit einander verbunden, so giebt jede der Scheiben, abgehoben und an ein messendes Instrument angelegt, den Zahlenwerth für die Dichtigkeit, welche je zwei Metalle eines Condensators bei Berührung annehmen, multiplicirt in eine Gröfse, welche durch Form und Ausdehnung der Scheiben und ihre Entfernung von einander bestimmt wird. Da diese Gröfse unter Voraussetzung der vollkommenen Gleichheit der Condensatoren bei allen Messungen constant bleibt, so würden die Messungen unmittelbar die gesuchten Verhältnisse der Dichtigkeiten für die Spannungsreihe liefern. Solche durchaus gleiche Condensatoren sind aber nicht anzufertigen.

Kohlrausch[1]) hat die Nothwendigkeit, gleiche Con- 974 densatoren anzuwenden, dadurch beseitigt, dafs er eine constante Elektricitätsquelle, die positive und negative Elektricität in gleicher Dichtigkeit liefert, eine voltaische Säule, zweimal mit jedem Condensator verbindet, in der Art, dafs einmal die positive Elektricität, die durch Berührung der Condensatorplatten unter einander entwickelt wird, zu der positiven Elektricität der constanten Quelle, die negative zu der negativen hinzutritt, das andere Mal die Elektricitäten verschiedenen Zeichens zusammengebracht werden. Nach diesen Verbindungen liefert jede Condensatorplatte, abgehoben und an einer feinen Torsionswage (§. 75*) geprüft, zwei Zahlenwerthe, Summe und Differenz der Dichtigkeit, welche die Platten des Condensators bei Berührung mit einander erhalten, und der Dichtigkeit, die der constanten Elektricitätsquelle

[1]) Poggend. Ann.* 82. 6.

[974] zugehört. Es sei die Dichtigkeit der Berührungselektricität der Condensatorplatten $= d$, die der constanten Quelle $= k$, so erhält man für $k + d$ durch Messung in der Wage einen Werth a, für $k - d$ einen Werth b, und berechnet hieraus $\frac{a-b}{a+b} = \frac{d}{k}$ die Dichtigkeit der Berührungselektricität der Condensatorplatten, unter Zugrundelegung der Dichtigkeit der constanten Elektricitätsquelle. Jede dieser beiden Dichtigkeiten ist nämlich in der Messung mit derselben Gröfse multiplicirt, die von der Beschaffenheit des Condensators abhängt, das Verhältnifs beider Dichtigkeiten also von dieser Beschaffenheit unabhängig. Ist die Elektricitätsquelle für längere Zeit nicht so constant, wie nöthig, so wendet man die Methode gleich nach einander auf zwei Condensatoren an, von welchen der eine Condensator für alle Versuche constant bleibt (z. B. aus einer Kupfer- und einer Zinkscheibe besteht) und vergleicht so die Dichtigkeit der Berührungselektricität zwischen den untersuchten Metallen mit der Berührungselektricität zwischen Kupfer und Zink.

975 Kohlrausch hat, um ein Beispiel seiner Methode zu geben, die Spannungsreihe für einige negative Metalle bestimmt, indem er mit ihnen Zink in Berührung setzte, und dessen Dichtigkeit mafs (§. 969.).

Zink erhielt mit		die Dichtigkeit
	Eisen	74,7
	Kupfer	100
	Silber	105,6
	Platin	107
	Gold	112,7

Die Stellung der drei edlen Metalle ist abweichend von der in den früheren Spannungsreihen (§. 970.). Um das Gesetz der Dichtigkeiten an diesen Zahlen zu prüfen, mafs Kohlrausch die Dichtigkeiten, die Eisen in Berührung mit den ihm folgenden Metallen erhält. Die von dem Gesetze geforderten Werthe werden gefunden, wenn man sich Zink zwischen die untersuchten Metalle eingeschaltet denkt. Zum Beispiel, um die Dichtigkeit bei der Berührung von Eisen und Kupfer zu berechnen, denke man sich eine Reihe: Eisen, Zink, Kupfer. Eisen erhält mit Zink die Dichtigkeit — 74,7, Zink mit Kupfer + 100. Eisen mit Kupfer soll nach §. 972

die Dichtigkeit 100 — 74,7 = + 25,3 erhalten. Folgende ist [975] die Zusammenstellung der beobachteten mit den berechneten Dichtigkeiten des Eisens bei Berührung mit anderen Metallen.

	nach Beobacht.	nach Rechn.
Eisen erhält mit Kupfer die Dichtigkeit	30,9	25,3
Silber	29,8	30,9
Platin	32,3	32,3
Gold	39,7	38

Die Uebereinstimmung der beobachteten und berechneten Werthe ist, mit Ausnahme des ersten Beispiels, genügend. Von weiteren Bestimmungen wurde Kohlrausch durch das Bedenken abgehalten, dafs die Oberflächenbeschaffenheit der Metalle einen zu grofsen Einflufs auf die Berührungselektricität äufsert, als dafs man den ermittelten Zahlen einen allgemein gültigen Werth beilegen könnte.

Elektricitätserregung an Apparaten.

Elektricität der voltaischen Säule. Dieser wunderbare Apparat besteht aus einer Anzahl, durch eine Flüssigkeit getrennter, Paare von zwei einander berührenden Metallen (Elementen). Das letzte Metallpaar an jedem Ende der Säule wird *Pol* genannt und zeigt, wenn isolirt, Elektricität, die bei geringer Zahl von Elementen mit Hülfe eines Condensators, bei grofser Zahl direct an einem Elektroskope merklich wird. Der eine (positive) Pol liefert positive, der entgegengesetzte, negative Pol, negative Elektricität von gleicher Dichtigkeit. Der positive Pol liegt an dem Ende der Säule, gegen welches die, aus der Spannungsreihe erkennbaren, positiven Metalle der einzelnen Elemente liegen. Berührt man einen Augenblick den einen Pol *A* einer isolirten Säule mit einem isolirten Leiter, so nimmt dieser die Elektricität des Pols an, und zugleich steigt die Dichtigkeit am entgegengesetzten Pole *B*. Hat man es durch wiederholte Berührung des Poles *A* dahin gebracht, dafs er einem gebotenen Leiter keine Elektricität mehr abgiebt, so erhält die Dichtigkeit am Pole *B* [976]

[976] ihren gröfsten Werth. Durch wiederholte Berührung des Poles *B* wird die Elektricität auch von diesem Pole fortgenommen, und damit steigt die Dichtigkeit am Pole *A* wieder, bis sie ihr Maximum erreicht. Aus diesen Versuchen, die mit den am einfachen Drathpaare angestellten (§. 966.) übereinstimmen, ergiebt sich der Erfolg bei dauernder Ableitung des einen Pols der Säule. Bei Ableitung des Poles *A* erhält der Pol *B* das Maximum seiner Dichtigkeit, das sich, wenn man es durch Anlegung eines Leiters vermindert, sogleich wiederherstellt und so lange wiederherstellt, als der angelegte Leiter noch nicht das Maximum von Dichtigkeit erlangt hat. Dies tritt bei einer mit gutleitender Flüssigkeit aufgebauten Säule in äufserst kurzer Zeit ein. Man kann eine beliebig grofse leydener Batterie fast augenblicklich an dem Pole einer Säule laden, deren anderer Pol zur Erde abgeleitet ist.

977 An einer isolirten Säule, die aus 50 Kupfer- und Zinkplatten und mit Wasser benetzten Pappscheiben zusammengesetzt ist, läfst sich die Elektricitätserregung nachweisen, indem man successiv jedes Plattenpaar mit einer kleinen isolirten Kugel berührt, und diese an ein Säulenelektroskop bringt. Die mittelsten Plattenpaare sind unelektrisch, von da an nimmt die Dichtigkeit nach beiden Polen zu, und zwar nach der einen Seite mit positiver, nach der anderen mit negativer Elektricität. Wird der eine Pol zur Erde abgeleitet, so ist die Dichtigkeit am andern Pole gröfser, als an der isolirten Säule, und nimmt von da an mit derselben Elektricitätsart bis zum abgeleiteten Pole ab, wo keine Elektricität merklich wird. Eine Säule, die entweder isolirt oder deren Mitte zur Erde abgeleitet ist, zeigt ein gleiches elektrisches Verhalten, nämlich eine von der Mitte nach jedem Pole zunehmende Dichtigkeit mit entgegengesetzter Elektricitätsart. Die in der Mitte abgeleitete Säule ist nämlich als zwei Säulen mit der Hälfte der Elemente zu betrachten, an welchen die entgegengesetzten Pole abgeleitet sind. Die Pole einer isolirten Säule verlieren ihre Elektricität in demselben Augenblicke, in dem man sie durch einen guten Leiter (Metalldrath) mit einander verbindet, bleiben aber elektrisch, wenn man zu ihrer Verbindung einen unvollkommenen Leiter gebraucht. Dieser Leiter

erscheint, bei einem gewissen Leitungsvermögen, in Hälften [977] getheilt, die mit entgegengesetzten, nach den Polen zunehmenden, Elektricitäten geladen sind. Erman[1]) verband die Pole einer isolirten Säule von 200 Elementen durch eine angefeuchtete Hanfschnur, und sah die an beiden Polen angebrachten Elektroskope divergiren. Berührte er einen Punkt der Schnur, der dem positiven Pole näher lag, als dem negativen, so stieg die Divergenz des Elektroskops am negativen Pole, und die am positiven nahm ab. Diese Aenderungen der Divergenzen wurden um so geringer, je mehr sich der berührte Punkt der Schnur von dem positiven Pole entfernte, und blieben aus, als die Mitte der Schnur berührt wurde. Man kann sich mit einer Prüfungskugel leicht davon überzeugen, dafs eine, zwischen die Pole einer Säule gelegte, nasse Schnur, oder ein feuchter Papierstreifen, von den Polen ab mit entgegengesetzter Elektricität von abnehmender Dichtigkeit geladen ist. Aus den im vorigen Paragraphe angeführten Erfahrungen lassen sich die Aenderungen beurtheilen, welche die elektrischen Erscheinungen der Säule durch Anbringung eines Condensators an einem ihrer Pole erleiden. Der Condensator kann nur die Dichtigkeit von Elektricität verstärken, die ihm in grofser Menge zugeführt wird. An den Pol einer isolirten Säule angelegt, nimmt er, wie ein isolirter Leiter von grofser Oberfläche, diesem Pole seine Elektricität und verstärkt die Dichtigkeit des entgegengesetzten Poles, aber damit hört seine Wirksamkeit auf, da der Pol, mit dem er verbunden ist, ihm keine Elektricität mehr liefert. Entfernt man hingegen die an dem freien Pole angehäufte Elektricität, so kann wieder Elektricität in den Condensator treten, und dies wird so lange dauern, bis der Condensator an dem Berührungspunkte mit dem Pole die Dichtigkeit erlangt hat, die der gröfsten Dichtigkeit des Poles gleich kommt. Man sieht hieraus, dafs der Condensator an dem Pole einer isolirten Säule keine Verstärkung der Dichtigkeit des Poles geben kann, aber wohl an einer Säule, deren einer Pol zur Erde abgeleitet ist. Ein Gleiches gilt, wenn der Condensator an eins der mittleren

[1]) Gilbert Annalen* 8. 207.

[977] Elemente der Säule angelegt wird; seine Wirksamkeit ist dadurch bedingt, daſs ein anderer Punkt der Säule abgeleitet sei. Diese Ableitung braucht nicht zur Erde zu geschehen, sie kann auch durch einen isolirten Leiter von groſser Oberfläche geleistet werden oder durch einen zweiten Condensator. Zwei Condensatoren, jeder mit einem Pole derselben Säule verbunden, werden daher gleich stark geladen, indem jeder die Rolle einer Ableitung für den mit ihm verbundenen Pol spielt. An die Stelle zweier Condensatoren, an welchen, wie sich von selbst versteht, eine Platte zur Erde vollkommen abgeleitet sein muſs, kann man auch nur Einen Condensator setzen, an dem beide Platten isolirt sind, und von welchen die eine Platte mit dem einen, die andere mit dem andern Pole der Säule in Verbindung steht. Diese und andere mehr zusammengesetzte Versuche mit Condensatoren, die Jäger[1]) an der Säule angestellt hat, finden ihre Erklärung in der Theorie des Condensators und der Eigenschaft der Säule, an jedem ihrer Pole das Maximum der elektrischen Dichtigkeit anzunehmen, wenn der entgegengesetzte Pol eine Ableitung erhält, und dies Maximum so oft zu erneuern, als es durch Ableitung vermindert wird.

978 Der absolute Werth des Maximum der Dichtigkeit an einem Pole der Säule hängt von der Natur der geschichteten Metalle und der Anzahl der Elemente ab. Ueber den Einfluſs der beiden Metalle, die zur Säule verwendet werden, auf die Elektricitätserregung giebt die Spannungsreihe Auskunft; mit der Anzahl der Elemente steigt die Dichtigkeit der Pole nahe in geradem Verhältnisse. Man kann durch Vermehrung der Elemente sehr bedeutende Dichtigkeiten erhalten. Die stärksten elektrischen Effecte hat Gassiot[2]) mit einer Bechersäule hervorgebracht, die aus 3520 Elementen bestand. Jedes Element bestand aus einem hohlen Cylinder aus Kupferblech und einem Zinkstabe, die, ohne einander zu berühren, in ein Glas mit Regenwasser gestellt waren. Das Zink jedes Elements war durch einen Drath mit dem Kupfer des fol-

[1]) Gilbert Annalen* 13. 401.
[2]) *Philos. transact.** 1844. 39. Poggend. Ann.* 65. 476.

genden verbunden. Ein Goldblattelektroskop divergirte, als [978] es einem Pole dieser Säule bis 3 Zoll genähert war. Als Metallfortsätze der Pole $\frac{1}{50}$ Zoll von einander gestellt waren, schlugen unausgesetzt Funken durch den Zwischenraum, und zwar während eines Zeitraumes von 5 Wochen. Mit einer nach Grove's Angabe construirten Säule aus Zink und Platin von 100 Elementen konnte der Funkenstrom erst erhalten werden, wenn an die Pole Kupferplatten gelegt und diese einander bis $\frac{1}{1000}$ Zoll genähert waren [1]). Die Gröfse der Elemente der Säule hat keinen Einflufs auf die elektrische Dichtigkeit der Pole. Biot [2]) baute drei Säulen aus je 16 Kupferzinkelementen, deren Flächeninhalt im Verhältnisse 1 zu 3,1 zu 153,2 stand, und erhielt an jeder von ihnen nahe dieselbe Dichtigkeit an den Polen.

Die Natur der Flüssigkeit zwischen den Metallen der 979 Säule hat keinen Einflufs auf die Dichtigkeit der Pole, so lange die Metallflächen keine Aenderung erleiden. Biot [3]) untersuchte Säulen von Kupferzinkpaaren und Tuchscheiben, die mit verschiedenen Flüssigkeiten befeuchtet waren. Er fand die Dichtigkeit eines Pols nahe eben so stark, wie mit Wasser, mit Lösungen von Alaun, Salmiak, Kochsalz, chlorsaurem Kali. Aber die Beschaffenheit der angewandten Flüssigkeit hat Einflufs auf die Zeit, in welcher die Pole der Säule ihre gröfste Dichtigkeit erlangen. Entfernt man daher die Elektricität des einen Pols der Säule, deren anderer Pol zur Erde abgeleitet ist, durch Berührung mit einem Condensator oder einem einfachen Elektroskope, so vergeht bei verschiedenen Flüssigkeiten, mit welchen die Säule geschichtet ist, eine verschiedene Zeit, bis das Prüfungsinstrument vom Pole einen neuen Theil von Elektricität erhält. Alsdann mufs die Ladung des Instruments nach der Dauer der Berührung mit dem Säulenpole verschieden sein. Gay-Lussac und Thénard [4]) fanden den Einflufs der Berührungsdauer auf die Ladung desto gröfser, je weniger leitend die Flüssigkeit in der Säule war. Mit schwacher Salpetersäure war die Dichtigkeit

---

[1]) Dingler polytechnisches Journal. 99. 201. [2]) *Traité de physique** 2. 489. [3]) *Traité de ph.** 2. 518. [4]) *Recherches physico-chimiques. Par.* 1811.* 1. 41.

[979] am Säulenpole nach momentaner Berührung 82, nach 2 Minuten Berührung 88, mit Glaubersalzlösung bei augenblicklicher Berührung 69, nach 2 Minuten 84. Noch deutlicher wird der Einfluſs der Berührungsdauer, wenn zwischen den Metallen keine concrete Flüssigkeit, sondern ein feuchter Körper liegt. Biot[1]) schichtete eine Säule, statt mit nassen Tuchscheiben, mit Scheiben aus geschmolzenem Salpeter, der seine Feuchtigkeit aus der Luft erhält. Je nachdem ein Pol dieser Säule 1 oder 100 Sekunden mit dem Condensator in Berührung blieb, wurde die Dichtigkeit 1,4 oder 6,8 gefunden.

980 Es ist oben angeführt worden, daſs die Dichtigkeit an einem Pole der Säule merklich verstärkt wird durch Ableitung des entgegengesetzten Pols. Diese Verstärkung ist nicht bei allen Säulen gleich, sie ist um desto gröſser, eine je bessere Leitung die Säule selbst gewährt, also je gröſser die Massen der zur Säule gebrauchten Metalle, und das Leitungsvermögen der zwischen ihnen befindlichen Flüssigkeit ist. De la Rive[2]) füllte einen Becherapparat (§. 978.) successiv mit Salpetersäure, Glaubersalzlösung, reinem Fluſswasser. Das Maximum der Ladung, das ein an einem Pol angelegter Condensator erhielt, während der andere Pol abgeleitet wurde, war bei den drei Flüssigkeiten nahe gleich. Als hingegen die Säule an beiden Polen isolirt war, wurde die stärkste Ladung bei Anwendung des Wassers, die schwächste bei der Salpetersäure erhalten; die Verstärkung der Dichtigkeit des Pols durch Ableitung des andern Pols war also bei der gutleitenden Salpetersäure gröſser, als bei dem unvollkommen leitenden Wasser. Auch wurde hierbei die §. 979 mitgetheilte Erfahrung bestätigt, nach welcher der Pol desto schneller das Maximum seiner Dichtigkeit annimmt, je besser leitend die Flüssigkeit in der Säule ist. Bei der Salpetersäure erhielt der Condensator das Maximum seiner Ladung durch augenblickliche Berührung des Pols der Säule, bei der Glaubersalzlösung muſste die Berührung einige Sekunden währen, und bei dem Wasser bis zu einer Minute verlängert werden.

---

[1]) *Traité de phys.** 2. 519.
[2]) *Recherches sur la cause. de l'él. volt.** 142.

981 Elektricität der Zamboni'schen Säule. Zamboni[1]) erfand 1816 eine aus Einem Metall und einer Flüssigkeit zusammengesetzte elektroskopisch wirkende Säule. Er schnitt aus Stanniol Quadrate von ½ Zoll Seite, die in eine 2 bis 3 Zoll lange Spitze fortsetzten, füllte 30 Uhrgläser mit destillirtem Wasser, und verband je zwei auf einander folgende Gläser durch jene Stanniolblätter. In dem ersten Glase, das *Quadratpol* der Säule heifsen soll, lag der quadratische Körper des ersten Stanniolblattes, in dem zweiten Glase die Spitze des ersten und, von ihr getrennt, der Körper des zweiten Blattes, und so fort, bis in dem letzten Glase, das *Spitzenpol* genannt wird, nur die Spitze des letzten Stanniolblattes lag. Die Säule unterscheidet sich daher im Wesentlichen nur dadurch von dem voltaischen Becherapparat, dafs statt zweier Metalle nur zwei Stücke Eines Metalles mit sehr verschiedener Fläche in die Flüssigkeit tauchen. Als Zamboni einen Condensator mit dem Quadratpole in Berührung setzte, während der Spitzenpol zur Erde abgeleitet war, erhielt er *positive* Elektricität; der Spitzenpol gab bei ähnlicher Untersuchung *negative* Elektricität. Ohne diese Ungleichheit der Berührung des Metalles mit dem Wasser blieb die Elektricitätserregung aus, als nämlich rhombische Stanniolstreifen zu beiden Seiten gleich tief ins Wasser tauchten. Die Säule wurde erst einige Minuten nach ihrer Zusammensetzung wirksam, erhielt sich danach aber mehrere Tage lang. Die Säule lud sich nur langsam, so dafs der Condensator, um das Maximum seiner Ladung zu erhalten, nicht unter ½ Minute mit dem Pole in Berührung bleiben mufste. Als das Wasser in den Gläsern durch allmäliges Zutröpfeln von Salmiaklösung leitender gemacht wurde, stellte sich eine schnellere Erregung ein, aber auf Kosten der Dichtigkeit der Pole, so dafs die Erregung bei einem gewissen Zusatze von Salmiak unmerklich wurde. Das angewandte Metall bestimmt die Art der Pole an der Säule. Wie wir gesehen haben, ist mit Zinn der Quadratpol der positive Pol. Dasselbe ist nach Zamboni bei Zink

[1]) Gilbert Annalen 60. 170.

[981] der Fall, wogegen Kupfer, und nach Erman[1]) Silber, einen negativen Quadratpol giebt. Die Gröfse der Metallplatten hat keinen Einflufs auf die Dichtigkeit der Pole. Erman fand mit 30 Zinkplatten, von welchen jede eine Oberfläche von 29 Quadratzoll hatte, dieselbe Dichtigkeit, wie mit einer gleichen Zahl Platten von 1 Quadratzoll Fläche; doch wirkte der grofse Apparat mehrere Wochen lang, während der kleine nach einigen Tagen erloschen war.

982 Eine andere, aber weniger einfache, Säule aus zwei Substanzen hat Zamboni mit Scheiben von Metallpapieren construirt. Eine Rolle auf einander gelegter Scheiben aus unächtem Silberpapier, deren Metallflächen nach unten lagen, lud an ihrem oberen (Papier) Pole, während der untere (Metall) Pol abgeleitet war, den Condensator mit positiver Elektricität. Das unächte Silber ist zwar eine Zinn-Zinklegirung, da aber eine ähnlich wirkende Säule aus unächtem Gold-(Kupfer-) Papier gebildet werden konnte, so ist anzunehmen, dafs diese Säulen der ungleichen Berührung eines Metalles mit Papier ihre Wirksamkeit verdanken. Jede Metallschicht der Säule ist nämlich mit einer Papierfläche untrennbar verbunden, während sie gegen die zweite Papierfläche nur gedrückt wird. An diesen Papiersäulen wechselten nicht selten die Zeichen der Pole, wie sie überhaupt nicht lange in Wirksamkeit erhalten werden konnten.

983 Elektricitätserregung der trockenen Säule. Nach dem Schema der voltaischen Säule zusammengesetzte Apparate, an welchen statt einer Flüssigkeit oder eines absichtlich genäfsten Körpers, ein hygroskopischer Körper zwischen die Metallpaare gebracht ist, heifsen *elektrische* oder *trockene Säulen*, und wirken lange Zeit hindurch stark elektrisch. Die oben angeführte (§. 979.) Biot'sche Säule aus Kupfer-Zinkplatten und Salpeterscheiben war eine der ersten trockenen Säulen[2]). Zwar hatten Hachette und Desormes schon früher eine Säule mit Stärkekleister statt des feuchten Leiters geschichtet, die mehrere Wochen elektrisch wirkte, diese kann aber erst einige Zeit nach ihrer Schichtung als

[1]) Abhandlung d. berl. Akadem. 1816—17.* 228.
[2]) *Annales de chim.* (1803)* 47. 48.

trockene Säule betrachtet werden. Aehnliche zufällig, im Laufe [983] des Versuches, trockene Säulen kamen zu jener Zeit öfter vor, in welcher das Experimentiren mit der voltaischen Säule zu einer wahren Leidenschaft geworden war. Der Erfinder der interessantesten, noch heut so nützlichen, trockenen Säule mit Papierzwischenlage, der dabei zuerst ihre lange anhaltende Wirksamkeit erkannte (er nennt sie ein wahres elektrisches mobile perpetuum) ist Georg Bernhard Behrens. Im April 1805 legte dieser Physiker eine Reihe von Abhandlungen, in welchen unter anderen Apparaten die trockene Papiersäule und das Säulenelektroskop beschrieben sind, in Gilbert's Hand[1]), und hat Nichts wieder von sich hören lassen. Aller angewandten Nachforschung ungeachtet habe ich keine Nachricht über sein weiteres Verbleiben gefunden. Die Papiersäulen fanden erst Beachtung, nachdem De Luc 1810, und Zamboni 1812 sich mit ihnen beschäftigt hatten, wodurch es nicht gerechtfertigt erscheint, wenn jene Säulen zuweilen nach diesen Beiden benannt werden. — Behrens setzte seine Säule aus 80 Elementen Zink, Kupfer, Goldpapier zusammen; das Papier war in Salzwasser getaucht und getrocknet worden, die Metallseite des Papiers berührte das Kupfer; die Pole wurden eben so stark elektrisch gefunden, als wenn das Papier mit einem feuchten Leiter vertauscht wurde. Ein Condensator, an den einen Pol angelegt, während der andere abgeleitet war, lud sich indeſs erst nach einigen Sekunden zur vollen Stärke. Die Säule blieb 3 Monate zusammen und wirkte ohne merkliche Schwächung; die Metallflächen hatten danach Nichts von ihrem Glanze verloren. Zum Elektroskope (§. 13.) setzte Behrens die Säule aus Messingblech, Stanniol und Goldpapier zusammen, führt aber an, daſs verzinkte oder verzinnte Bleche bessere Dienste, als Messing und Stanniol, thun würden. Damit jene Säule kräftig wirkte, muſsten, wie man aus der Spannungsreihe sieht, die Metallflächen des Papiers mit dem Messing in Berührung sein.

De Luc[2]) kam bei seinen Untersuchungen über die

[1]) Gilbert Annalen* 28. 1.

[2]) *Nicholson journal* 1810. *Sturgeon annals of electr.** 8. 438.

[984] voltaische Säule auf die Combination: Zink, Kupfer, Schreibpapier, die er elektroskopisch wirksam fand. Da diese Wirksamkeit durch Festleimen des Papiers auf dem Kupfer erhöht wurde, so ersetzte er beide Stoffe durch das käufliche unächte Goldpapier und nahm, da ihm keine dünnen Zinkplatten zu Gebote standen, statt dieser verzinntes Eisenblech. Eine aus 800 Elementen Eisenblech und Goldpapier zusammengesetzte Säule war so stark elektrisch, daſs die an beiden Polen angebrachten Goldblattelektroskope divergirten, bis die Goldblätter an die Seitenbelegungen der Elektroskope anschlugen, und dann auf's Neue divergirten. Durch die erklärliche Wandelbarkeit in diesem Spiele der Elektroskope wurde De Luc verleitet, die trockene Säule für ein meteorologisches Instrument zu halten, das die atmosphärische Elektricität anzeigte; er stellte deshalb Untersuchungen an, die nicht mit Unrecht von dem Committee der philosophical transactions 1809 vom Drucke ausgeschlossen wurden. Zamboni benutzte zu trockenen Säulen zuerst Silberpapier, das auf der Papierseite mit einem Teige von Honig und gepulvertem Braunstein bestrichen war [1]); später näſste er die Papierseite des Silberpapiers mit einer Lösung von schwefelsaurem Zinkoxyd und rieb das Braunsteinpulver darin ein. Aus diesem Papiere wurden kleine Scheiben gestemmt, und in gleicher Lage in einer Glasröhre zu einer Säule geschichtet, deren Enden Metallfortsätze erhielten. Eine Säule von 2000 solchen Scheiben gab, auſser der starken Divergenz am Elektroskope, Funken von 1 Linie Länge, eine leydener Flasche konnte durch sie so geladen werden, daſs damit eine Erschütterung in Arm und Brust erhalten wurde. Eine Säule von 10000 Scheiben lieferte Funken von ½ Zoll Länge. Das Ende der Säulen, von dem aus das Silberpapier der Scheiben sichtbar war, gab negative, das andere positive Elektricität; es ist klar, daſs das erste Ende der Pol war, nach welchem von dem, aus unächtem Silber und Braunstein gebildeten, Berührungspaare der Braunstein seine Elektricität abgab. Zwei solche Säulen wurden vertical mit entgegengesetzten Polen

[1]) Gilbert Annalen* 49. 41. B. 60. 153.

einander nahe aufgestellt, und dazwischen ein isolirtes Doppelpendel angebracht, das, wie eine magnetische Inclinationsnadel, um eine horizontale Axe beweglich war. Die wirklich nützliche Bewegung eines Goldblättchens zwischen den Polen zweier trockenen Säulen, die Behrens sieben Jahre zuvor angegeben hatte, war unbeachtet geblieben, die Bewegung des Zamboni'schen Pendels erregte Aufsehen und die Hoffnung, damit eine richtig gehende Uhr zu construiren, die, ohne aufgezogen zu werden, ein Menschenleben hindurch in Bewegung bliebe. Solcher Uhren sind wirklich fünf mit großsen Kosten gebaut worden, jene Hoffnung ist aber in Betreff des ersten Punktes sogleich, in Betreff des zweiten nach ein Paar Jahren zu nichte geworden. [984]

985 Alle trockenen Säulen nehmen mit der Zeit an Wirksamkeit ab, gleich nach ihrer Anfertigung schnell, später aber so langsam, daſs die elektroskopischen Wirkungen einer gut construirten Säule nach 20 und mehr Jahren wahrgenommen werden. Die am längsten dauernden Säulen werden aus unächten Silber- und Goldpapieren zusammengesetzt, und sind von Zamboni zuerst gebraucht und dann verworfen worden, bis sie von Jäger allgemein eingeführt wurden. Da das sogenannte Goldpapier mit Kupfer, das Silberpapier mit einer Legirung von Zinn und Zink bekleidet ist, so muſs nach der Spannungsreihe das Ende einer trockenen Säule, von welchem die Goldflächen gesehen werden könnten, *positiv* elektrisch sein. Am zweckmäſsigsten werden diese Säulen aus, an der Papierseite zusammengeleimten, Scheiben von Gold- und Silberpapier in der Weise gefertigt, die ich §. 17 angegeben habe. Soll die Säule mit Schnüren gebunden werden, so muſs man sich von diesen versichern, daſs sie aus reiner Seide bestehen, und sie stark mit Firniſs tränken; wo es angeht, muſs man die Säule lieber zwischen gefirniſsten Glasstäben schichten und durch Schrauben zusammendrücken. Die Gröſse der Scheiben in der Säule hat keinen Einfluſs auf die Dichtigkeit der Pole, aber auf die Zeit, in welcher sich diese Dichtigkeit herstellt; worauf Jäger[1]) aufmerksam gemacht hat. Je gröſser

[1]) Gilbert Annalen* 49. 63.

[985] die Scheiben, desto schneller ist die Erregung in der Säule, so dafs Bohnenberger[1]) eine Flasche schneller durch eine grofsplattige, als durch eine kleinplattige Säule von gleicher Zahl von Elementen laden konnte. Deshalb ist auch die Bewegung eines Pendels an einer grofsplattigen Säule schneller, die Zahl der überspringenden Funken in gleicher Zeit gröfser, als an der kleineren. Man bedarf zu häufigen Funken indefs keiner sehr grofsen Scheiben. Ich schichtete 4 Säulen aus zusammengeleimten Gold- und Silberpapierscheiben von 13 Linien Durchmesser. Jede Säule enthielt 2230 Elemente und gab Funken, die indefs nur im Dunkeln sichtbar waren. Als ich diese 4 Säulen hinter einander mit ihren ungleichnamigen Polen verband, erhielt ich durchschnittlich in der Minute 76 hörbare und am Tage sichtbare Funken von $\frac{1}{20}$ Linie Länge. Es war dies 6 Wochen nach der Anfertigung der Säulen; nach fernerem Verlauf von 4 Monaten wurden nur 48 Funken in der Minute gezählt.

986 Die auffallendste, im Vorangehenden nachgewiesene, Wirksamkeit der trockenen Säule besteht in den elektroskopischen Bewegungen, den Funken und der Ladung von Condensatoren und Flaschen. In Bezug auf diese Ladung ist noch anzuführen, dafs Singer[2]), der seine Säulen aus gewalztem Zink, Schreibpapier und ächtem Silberpapiere baute, mit einer Säule von 20000 Elementen eine Flasche von 50 Quadratzoll Belegung lud, und mit dieser Zeichenpapier durchbohrte und 1 Zoll eines sehr dünnen Platindrathes schmelzte. Die trockenen Säulen bringen indefs noch andere Effecte hervor, wenn auch in viel geringerem Grade, als die voltaische Säule. In Hinsicht auf die elektrolytische Wirkung ist die Angabe Bohnenberger's[3]) mit Recht bezweifelt worden, nach welcher eine Säule aus 1800 Elementen Gold- und Silberpapier, jedes Blatt von 36 Quadratzoll Fläche, das Wasser in einem dauernden Strome zersetzen soll, wie eine voltaische Säule von 60 bis 100 Elementen. Jäger[4]) wagte, trotz jener Angabe, nicht mit Gewifsheit zu behaupten, dafs die trockene

---

[1]) Gilbert Ann.* 53. 350. [2]) Elemente der Elektric.* 287. [3]) Gilbert Annalen* 53. 353. [4]) Gilbert Annalen* 55. 377.

Säule überhaupt eine chemische Wirksamkeit äufsere, und [986] Singer vermochte nicht, mit einer starken Säule die empfindlichsten Pflanzenfarben zu ändern. Ich selbst habe indefs mit einer alten trockenen Säule von geringer Ausdehnung Jodkalium, Glaubersalz und salpetersauren Baryt zersetzt (§. 610.). Die Nadel des Multiplicators durch die trockene Säule abzulenken, ist in früheren Versuchen nicht geglückt, und ein Froschpräparat konnte von Parrot und Schweigger [1]) nur unter besonderen Bedingungen zum Zucken gebracht werden. Beide Wirkungen sind von Du Bois nachgewiesen worden an einer Säule, die ich 10 Jahre früher aus 1800 getrockneten Gold- und Silberpapierscheiben von 13 Linien Durchmesser zusammengesetzt und mit Siegellack bekleidet hatte. Der Nerv des präparirten Froschschenkels war über zwei von einander entfernte Platinstreifen gelegt, deren Gleichartigkeit daraus hervorging, dafs der Schenkel unbewegt blieb bei Verbindung der Streifen durch einen Drath. Die Zuckung trat ein, wenn der eine Platinstreifen mit dem einen Pol der isolirten Säule verbunden war, und ein vom andern Pole ausgehender Drath den zweiten Streifen berührte. Die ableitende Berührung des einen Säulenpols, während der andere Pol mit dem einen der beiden Platinstreifen verbunden war, brachte keine Zuckung hervor. Die Ablenkung der Magnetnadel wurde an einem Multiplicator von 24160 Windungen hervorgebracht, zwischen dessen Enden die isolirte Säule eingeschaltet war. Es wurde ein Ausschlag von etwa 10°, eine stehende Ablenkung von 3 bis 4° erhalten. Eine Ablenkung von geringerer Stärke trat ein, wenn ein Ende des Multiplicatordrathes mit einem Pole der Säule verbunden war, und der andere Pol ableitend berührt wurde.

987 Es ist lange darüber Streit geführt worden, ob die hygroskopische Feuchtigkeit des Zwischenkörpers zur Wirksamkeit der trockenen Säule nöthig sei. Dafs es elektrische Säulen mit vollkommen trockenem Zwischenkörper geben könne, die den Condensator nach Maafsgabe ihrer Elementezahl laden, ist gewifs, und konnte von vorn herein behauptet werden,

[1]) Gilbert Annalen* 55. 185. Schweigger Journ.* 15. 188.

[987] ehe die Versuche von Jäger[1]) vorlagen, der wirksame Säulen geschichtet hat, in welchen Harzschichten, Taft, Glas die Metallpaare der Säule trennen. Man vergleiche das Schema einer solchen Säule (Fig. 185.), in welchem die dunkelen Streifen Kupfer, die hellen Zink, die vorspringenden Glas bedeuten, mit Fig. 139, die eine Franklin'sche Batterie darstellt. Die Aehnlichkeit beider Apparate ist deutlich. Jede Glastafel in Fig. 185 mit ihren beiden Belegungen ist eine Franklin'sche Tafel, deren eine Belegung mit der entgegengesetzten Belegung der folgenden Tafel in Verbindung steht. Wir wollen, der Kürze wegen, die Zinkbelegung als die innere Belegung ansehen. Wird die erste Tafel mit positiver Elektricität direct geladen, so erhalten nach dem Mechanismus der Franklin'schen Batterie alle folgenden Tafeln auf ihrer Zinkbelegung positive Elektricität in, nach dem Ende zu, abnehmender Menge. Die an der (letzten) Tafel 6 anliegende Zinkplatte wird positiv elektrisch, und ein Leiter, der an ihre äufsere Belegung *B* angelegt wird, mufs daher ebenfalls positive Elektricität durch Mittheilung erhalten. Ein gleicher Erfolg tritt ein, wenn die inneren Belegungen der Tafeln 2 bis 6 einzeln direct mit positiver Elektricität versehen werden. Nun denke man sich alle Tafeln gleichzeitig mit positiver Elektricität geladen, und zwar so, dafs die mitgetheilte Elektricität auf die innere Belegung jeder Tafel beschränkt bleibt, ohne auf die äufsere Belegung der in der Reihe vorangehenden Tafel übergehen zu können. Dann wird offenbar die Belegung *B* der letzten Tafel desto stärker positiv elektrisch sein, je mehr Tafeln ihr in der Reihe voranstehen. Die Tafel 5 mufs z. B. schwächer elektrisch sein, als die Tafel 6, weil jene indirect nur von vier, diese von fünf Tafeln geladen wird. Eine solche eigenthümliche directe Elektrisirung der Tafeln, wie sie hier angenommen worden, findet wirklich in der betrachteten Säule mit Kupfer- und Zinkbelegungen nach dem Gesetze der Berührungselektricität statt. Jede Tafel wird an ihrer inneren (Zink) Belegung positiv geladen durch die Berührung des Zinks mit der kupfernen

---

[1]) Gilbert Annalen* 49. 52. B. 52. 81.

äußeren Belegung der vorangehenden Tafel. Die Versuche [987] Jäger's, in welchen die Belegung A abgeleitet war, und die Belegung B einen Condensator lud, sind hierdurch erklärt, aber für die Bedingung der Trockenheit der elektrischen Säule beweisen sie eben so wenig, als für die Bedingung der Nässe der Säule die bekannte Erfahrung beweist, daſs in dem voltaischen, mit Wasser gefüllten, Becherapparate die elektrische Dichtigkeit des letzten Bechers mit der Zahl der Becher zunimmt.

988 Daſs Feuchtigkeit zum Bestehen stark wirkender elektrischer Säulen nöthig sei, dafür sprechen verschiedene unzweifelhafte Thatsachen. Die Säulen wirken kurz nach ihrer Anfertigung am stärksten, nehmen danach fortwährend an Wirksamkeit ab und werden, wenn sie gänzlich erloschen sind, durch Auseinandernehmen und Wiederaufschichten der Scheiben zum Theil wieder hergestellt. Ist hier das Austrocknen der gepreſsten Scheiben als Grund des Erlöschens, und die Wiederaufnahme von Feuchtigkeit als Grund der erneuten Wirkung wahrscheinlich, so wird dies auf das Entschiedenste bestätigt durch einen Versuch, der zuerst von Erman[1]) angestellt und mit gleichem Erfolge von Jäger und Parrot wiederholt worden ist. Eine gut wirkende trockene Säule in eine Kapsel gestellt, in der die Luft durch Chlorcalcium vollkommen getrocknet war, verlor ihre Kraft in einigen Stunden gänzlich, und erhielt sie in feuchter Luft wieder. Parrot[2]) hat viele Versuche angestellt, in welchen Säulen abwechselnd unwirksam und wirksam gemacht wurden, indem er sie in Glocken stellte, die durch Aetzkalk trocken, oder durch Wasser feucht erhalten waren. Wenn auch die Luft dem Papiere der Säule die ihm nöthige Feuchtigkeit liefert, so folgt daraus nicht, daſs jede Säule, in feuchter Luft geprüft, sich stärker zeigen werde, als in trockener. Damit an einem Säulenpole Elektricität von groſser Dichtigkeit auftrete, ist es nöthig, daſs der Pol gut isolirt sei, was in feuchter Luft weniger als in trockener der Fall ist. Je nach dem Zustande,

[1]) Gilbert Annalen* 25. 8.
[2]) Gilbert Annalen* 55. 165.

[988] in welchem sich eine trockene Säule befindet, ist es daher eben so leicht erklärlich, wenn ihr Pol mit zunehmender Feuchtigkeit der Atmosphäre an Kraft gewinnt, wie Erman gesehen hat, als wenn der Pol, nach Schübler's[1]) Beobachtung, dadurch geschwächt wird. Ein solcher entgegengesetzter Erfolg kann begreiflich an derselben Säule zu verschiedenen Zeiten stattfinden, und es war ein durchaus verfehltes Bemühen, die trockene Säule als Hygroskop für atmosphärische Feuchtigkeit zu benutzen. Wie voreilig man dabei zu Werke ging, geht aus der Bemerkung hervor, daſs Veau-de-Launay mit gleicher Bestimmtheit schlechtes Wetter daraus vorhersagte, daſs eine Säule an Kraft gewann, wie v. Yelin daraus, daſs eine Säule an Kraft verliert.

989 Der Einfluſs der Wärme auf die trockene Säule ist verschieden angegeben worden. Wenn einige Beobachter die Wirksamkeit der Säule mit steigender Wärme zunehmen, andere abnehmen gesehen haben, Schübler eine Zunahme der Temperatur von 10 bis 60° R. ohne Einfluſs auf seine Säule fand, so ist dies erklärlich aus dem verschiedenen Zustande der Isolirung und der Feuchtigkeit der Säulen, die durch zunehmende Wärme in entgegengesetztem Sinne verändert werden. Räthselhafter sind die folgenden Wirkungen der Wärme auf eine möglichst ausgetrocknete Säule, die von einem sorgfältigen Beobachter bemerkt worden sind. Jäger[2]) setzte aus 1000 im Ofen getrockneten Gold- und Silberpapierscheiben eine Säule zusammen, die mit Chlorcalcium in eine luftdicht geschlossene Büchse gestellt, und längere Zeit erwärmt wurde. Ein neben der Säule befindliches Hygrometer zeigte den höchsten Punkt der Trockenheit. So lange die Temperatur der Säule unter 20° R. blieb, konnte von ihrem Pole, der einen durch den Deckel der Büchse gehenden Fortsatz hatte, keine Elektricität erhalten werden. War aber die Temperatur bis 30 oder 40° gestiegen, so wurde die Elektricität des Pols an einem Säulenelektroskope, bei 40 bis 45° an einem Strohhalmelektroskope merklich. Bei gröſserer anhaltender Er-

[1]) Schweigger Journal* 15. 130.
[2]) Gilbert Annalen* 62. 232.

hitzung, die der Säule eine Temperatur von 55 bis 60° gab, [989] wirkte die Säule noch besser, als kalt in freier Luft. Aber die Elektricität der erhitzten Säule ersetzte sich (nach vorhergehender Ableitung) viel langsamer, als an einer nicht getrockneten und nicht erhitzten Säule. Diese Versuche konnten auch an einer frei liegenden Säule angestellt werden. Mehrere Stunden in einer Ofenröhre erhitzt und dann mit dieser bis 20° abgekühlt, zeigte die Säule keine Elektricität. Erhitzte man sie aber bis 60°, so gab sie am Elektroskope eine gröfsere Divergenz, als bei gewöhnlicher Temperatur ohne vorangehende Erhitzung. — Es ist wahrscheinlich, dafs hier die Papiersäule nach dem Principe der Franklin'schen Batterie wirkte, wie in §. 987 auseinandergesetzt worden ist.

990 Elektricität an Volta-Inductionsrollen. Die Volta-Induction wird an Apparaten aufgezeigt, die im Wesentlichen denen gleich sind, die bei der Elektro-Induction gebraucht wurden. Man verbinde von den beiden um einen Holzcylinder gewundenen Dräthen, die den Inductionscylinder (§. 820.) bilden, den einen Drath mit den Polen einer voltaischen Säule, und schliefse den zweiten durch einen Zersetzungsapparat (§. 610.). Während durch den ersten Drath, der auch hier Hauptdrath genannt wird, die Säule geschlossen ist, findet im Nebendrathe keine Wirkung statt; im Augenblicke aber, in welchem die Schliefsung aufgehoben wird, tritt im Nebendrathe ein momentaner Strom auf, dessen Richtung durch die Zersetzung erkannt wird. Bei dem Schliefsen der Säule erhält man einen zweiten momentanen Strom, dessen Richtung der des ersten entgegengesetzt ist. Aber mit Dräthen von 52 Fufs Länge, die wir früher gebraucht haben, ist die Wirkung nur bei aufsergewöhnlich starken Säulen zu erhalten. Bei Säulen gewöhnlicher Art mufs man viel längere Dräthe anwenden, die aber nicht in regelmäfsige Spiralen gelegt zu werden brauchen. Man windet die, mit Seide oder Baumwolle besponnenen, Dräthe neben einander um einen Cylinder von geringer Höhe in beliebig vielen über einander liegenden Lagen auf. Ein solcher mit zwei Dräthen umwundener Cylinder wird eine *doppelte Inductionsrolle* genannt. Man kann auch jeden der beiden Dräthe einzeln aufwinden,

[990] den einen auf einen Cylinder, den andern auf eine Röhre von hinlänglicher Weite, und erhält so *einfache Inductionsrollen*, die man einzeln anwendet oder zusammen, indem man die eine Rolle auf die andere schiebt. Die zur Schliefsung der Batterie benutzte Rolle wird dann Hauptrolle, die andere Nebenrolle genannt.

991 Sowol von der Hauptrolle, wie von der Nebenrolle sind mit Hülfe des Condensators elektrische Wirkungen erhalten worden; ich führe davon nur die an der Nebenrolle bemerkten an, weil an der Hauptrolle die Drathenden mit den, schon für sich elektrischen, Polen der voltaischen Säule in Verbindung stehen. Breguet und Masson[1]) gebrauchten eine doppelte Inductionsrolle von 8½ Zoll Höhe, 8,1 Zoll äufserem Durchmesser und 1,8 Zoll Dicke (der Drathlagen); jeder der beiden dazu verwandten Dräthe war 2000 Fufs lang, 1,1 Linie dick und doppelt mit Baumwolle besponnen. Die voltaische Säule enthielt 40 Elemente nach Daniell's Construction, und war durch den Hauptdrath der Inductionsrolle geschlossen; das eine Ende des Nebendraths wurde mit der einen Scheibe eines Condensators mit Glasplatte verbunden, während das andere Ende von der zweiten Scheibe durch einen kleinen Zwischenraum getrennt war. In diesem Zwischenraume erschien ein Funke, wenn die Schliefsung der Batterie durch den Hauptdrath aufgehoben wurde, und danach fanden sich die Scheiben des Condensators geladen. Man erhielt also Elektricität durch Induction von der voltaischen Säule genau in der Weise, wie ich sie früher durch Induction von der leydener Batterie erhalten hatte (§. 898.). Ob hier die Zeichen der angesammelten Elektricität constanter waren, als ich sie an der Batterie gefunden, ist nicht angegeben worden.

992 Sinsteden[2]) gebrauchte einfache Inductionsrollen. Es waren 6 besondere Dräthe, jeder 23 Fufs lang, ½ Linie dick, um ein 5 Zoll langes, ¾ Zoll weites Holzrohr gewunden, die gleichgelegenen Enden dieser Dräthe an einander gelöthet

---

[1]) *Annales de chim.* 3 *sér.** 4. 138.
[2]) Poggend. Ann.* 69. 361.

und zur Schliefsung einer voltaischen Säule benutzt. Diese, [992] als Hauptrolle dienende, Drathrolle wurde mit Wachstaft bedeckt, und die Nebenrolle darüber gewunden, die aus 3280 Fufs eines besponnenen Drathes von ¼ Linie Dicke bestand. In die Höhlung der Hauptrolle war eine Glasröhre, und in diese ein 1 Zoll breites, 6 Zoll langes Bündel von isolirten Eisendräthen gelegt. Während durch eine drehbare Vorrichtung (ein Blitzrad) die Säule schnell nach einander viele Male abwechselnd geöffnet und geschlossen wurde, konnten an jedem Ende der ungeschlossenen Nebenrolle Funken erhalten werden, die einen Condensator luden. Die dadurch erhaltene Elektricität hatte eine gröfsere Dichtigkeit, wenn bei der Untersuchung eines Endes der Nebenrolle das andere Ende zur Erde abgeleitet war. Das Eisendrathbündel in der Hauptrolle diente zur Verstärkung der Wirkung, da aufser der Volta-Induction auch die Magneto-Induction zur Erregung der Elektricität beitrug. In eben der Weise, wie die Hauptrolle auf die Nebenrolle, wirkte sie auch auf das Drathbündel, von dem ein isolirter Drath zum Condensator geführt, diesen während der Dauer des Versuchs in hohem Grade lud. Es könnte auffallen, dafs in diesen Versuchen bei schnell wiederholter Oeffnung der Säule Elektricität erhalten wurde, obgleich dabei eben so viele Oeffnungen als Schliefsungen wirkten, und Ströme entgegengesetzter Richtung erregt wurden (§. 990.), so dafs jedes Ende der Nebenrolle eben so oft positiv als negativ elektrisirt werden mufste. Der beobachtete Effect wird durch die Erfahrung erklärlich, dafs die Elektricitätserregung bei Schliefsung der Säule viel schwächer ist, als die bei Oeffnung; sie ist so schwach, dafs Breguet und Masson[1]) dadurch keine Funken, und nur eine sehr geringe Ladung des Condensators erhalten konnten. — Später hat Sinsteden[2]) starke elektrische Wirkungen erhalten an zwei Stanniolcylindern, die in folgender Weise eine Nebenrolle einfafsten. Ein cylindrisches Eisendrathbündel, 5 Zoll lang, 1⅜ Zoll dick, war mit gefirnifstem Taft bedeckt und mit

[1]) *Annales de chimie 3ème sér.** 4. 140.
[2]) Poggendorff Annalen* 85. 476.

[992] 248 Windungen eines 1 Linie dicken, mit Seide besponnenen Kupferdrathes umwunden, der die Hauptrolle bildete. Diese Rolle wurde mit doppeltem gefirnifsten Tafte bedeckt, und auf diesen ein Stanniolblatt geklebt in Form eines der Länge nach aufgeschnittenen Cylinders, von dem aus ein isolirter, mit einer Kugel endigender, Drath nach einer zugänglichen Stelle geführt war. Dies war der innere Cylinder; er wurde mit isolirendem Tafte bedeckt und darum ein 3000 Fufs langer, ¼ Lin. dicker besponnener Kupferdrath gewickelt, der die Nebenrolle bildete, auf die, nach einer Zwischenlage von Taft, ein Stanniolblatt als äufserer Cylinder gelegt wurde. Auch von diesem Cylinder ging ein isolirter Drath aus, dessen Endkugel einen drehbaren Arm trug, welcher der Kugel des inneren Cylinders beliebig genähert werden konnte. Die Hauptrolle wurde zur Schliefsung eines voltaischen Elementes benutzt und diese Schliefsung fortdauernd schnell nach einander aufgehoben und wiederhergestellt durch die unter dem Namen: Ambofs und Hammer bekannte Vorrichtung [1]), die durch den galvanischen Strom selbst in Bewegung gesetzt wird. Die Platte und Spitze, durch deren Trennung der Strom unterbrochen wird, mufsten zu den folgenden Versuchen aus Platin bestehen, obgleich dies Metall durch die auftretenden Funken beschädigt, und die Vorrichtung nach einiger Zeit unbrauchbar wurde. Reines Silber statt des Platins gebraucht, erlitt keine Beschädigung, vereitelte aber die Versuche. Als der Apparat in Thätigkeit gesetzt war, konnte Sinsteden ein Goldblattelektroskop durch Anlegen an jede der beiden Kugeln der Stanniolcylinder zu einer starken Divergenz laden, an der einen Kugel mit positiver, an der andern mit negativer Elektricität. Die Elektricität des inneren Cylinders war gleich der des inneren (der Hauptrolle nächsten) Endes der Nebenrolle, die des äufseren Cylinders der des äufseren Endes. Die Divergenz des Elektroskops wurde verstärkt, wenn die nicht benutzte Kugel oder das ihr entsprechende Ende der Nebenrolle zur Erde abgeleitet war. An jeder Kugel erhielt der Beobachter kleine Funken, heftige Erschütte-

[1]) Poggend. Ann.* 46. 107.

rungen, wenn er die eine Kugel berührte und von der andern [992]
Funken zog. Wurde der Arm der einen Kugel der andern Kugel bis 2 Linien genähert, so ging durch die Lücke ein fortwährender Funkenstrom, der sechsfach zusammengelegtes Schreibpapier durchbohrte, Alkohol und mit Kolophon bestreute Baumwolle augenblicklich entzündete.

993 Elektricität an der magneto-elektrischen Maschine. Die Magneto-Induetion, eine der grofsen Entdeckungen Faraday's, besteht darin, dafs der Pol eines Magnets in dem Augenblicke, wo er auf einen Leiter zu wirken anfängt, und dem, wo er zu wirken aufhört, in dem Leiter einen elektrischen Strom erregt. Diese beiden Ströme sind von entgegengesetzter Richtung, und ebenso sind die Ströme einander entgegenlaufend, die unter gleicher Bedingung von einem magnetischen Nordpol, und von einem Südpol erregt werden. Um diese Ströme aufzuzeigen, steckt man einen Stab von weichem Eisen in eine einfache Inductionsrolle, und bringt ihn einem Pole eines starken Magnets nahe. Der in dem Stabe durch diese Näherung erregte Magnetismus erregt in dem Drathe der Inductionsrolle einen elektrischen Strom, der durch chemische, magnetische, thermische und physiologische Wirkungen merklich gemacht werden kann. Ein Strom entgegengesetzter Richtung entsteht bei Entfernung der Inductionsrolle mit dem Eisenkerne von dem Magnete. Durch wiederholtes Annähern und Entfernen und Summiren der dabei erregten Ströme kann man Wasser zersetzen, einen Drath glühen, Erschütterungen von unerträglicher Stärke hervorbringen. Dies leisten die in verschiedener Weise ausgeführten, sogenannten magneto-elektrischen Maschinen. Gewöhnlich werden dabei zwei Eisenkerne, von einfachen Inductionsrollen umgeben, den beiden Polen eines Hufeisenmagnets in schneller Rotation vorbeigeführt. Ich übergehe die specielle Beschreibung einer solchen Maschine, die aus jedem Handbuche entnommen, oder durch den Anblick eines Exemplars der jetzt weit verbreiteten Maschinen ersetzt werden kann. Gewöhnlich ist an dem Exemplare eine Vorrichtung vorhanden, von den in den Dräthen der Inductionsrollen erregten Strömen nur die Ströme gleicher Richtung zur Beobachtung kommen zu las-

[993] sen. Dies ist die Bedingung, unter welcher die Maschine hier zur Sprache kommt.

994 An den Inductionsrollen der magneto-elektrischen Maschine wird Elektricität entwickelt, die zuerst 1837 von Clarke[1]) beobachtet worden ist. Die äufsere Belegung einer kleinen leydener Flasche war mit dem einen Ende des Draths der Inductionsrollen verbunden, dessen anderes Ende während des Drehens der Maschine behutsam dem Knopfe der Flasche genähert wurde, so dafs zu diesem ein Funke übersprang. Die Flasche war hierdurch geladen und konnte ein Goldblattelektroskop durch Berührung 13mal zur Divergenz bringen. Breguet und Masson[2]) vermochten auf gleiche Weise, an den Inductionsrollen ihrer Maschine einen Condensator zu laden, aber die Ladung war sehr veränderlich, sowol der Stärke, als dem Zeichen nach. Es kann nicht auffallen, an einem zusammengesetzten Magneto-Inductionsstrome eine Veränderlichkeit wieder zu finden, die ich an dem viel einfacheren Elektro-Inductionsstrome erfahren hatte (§. 899.). Endlich hat auch Sinsteden[3]) an einer Saxton'schen magneto-elektrischen Maschine, die er auf eine isolirende Unterlage gesetzt, und deren einzelne Theile er elektrisch isolirt hatte, elektroskopische Zeichen erhalten. Von jedem Ende der Inductionsrollen wurde mit Hülfe eines Condensators Elektricität von constantem Zeichen aufgesammelt, und zwar von sehr merklicher Dichtigkeit, wenn das nicht untersuchte Ende zur Erde abgeleitet war. In diesem Falle konnte auch an dem Stahlmagnete, vor dessen Polen die Inductionsrollen rotirten, Elektricität aufgezeigt werden, und zwar stets von dem Zeichen, das an dem isolirten Ende der Inductionsrollen gefunden worden war.

---

[1]) *Sturgeon annals of electr.** 1. 407.
[2]) *Annales de chimie 3ème sér.** 4. 131.
[3]) Poggend. Ann.* 69. 355.

Elektricitätserregung durch den thierischen Organismus.

Daſs durch den thierischen Organismus, das heiſst, durch einen, an das Leben eines Thieres gebundenen, Proceſs Elektricität entwickelt werde, ist erst in neuerer Zeit ausgemacht worden. Nicht, als ob es an früheren Angaben fehlte, es seien an Menschen und Thieren Erscheinungen beobachtet worden, die der Elektricität zugeschrieben wurden. Von dem Westgothen Theodorich im fünften Jahrhundert an, der nach der Sage im Gehen Funken sprühte, bis auf die ungenannte Dame, die 1837 in Nordamerika zwei Monate lang Jeden ihr Nahekommenden mit Funken empfing [1]), hat es nicht an Personen gefehlt, denen das Vermögen, Funken und Erschütterungen auszutheilen, zugeschrieben wurde. Aber es werden bei jenen Erzählungen die Bürgschaften vermiſst, welche die Feststellung einer, auch weniger auffallenden, Thatsache verlangt, und selbst die wissenschaftlichen Untersuchungen, bei welchen eine isolirte Person einen Condensator zu laden vermochte [2]), schlieſsen den Zweifel nicht aus, daſs von einer Elektricitätserregung die Rede sei, die mit dem Leben der untersuchten Person Nichts zu thun hat. Die trockene menschliche Oberhaut wird, wie die Aufführung der Hand in der Spannungsreihe (§. 934.) gezeigt hat, mit einem Isolator gerieben, stark elektrisch, Kleidungsstücke aus Seide oder Wolle können den menschlichen Körper, von dem sie abgezogen wurden, leicht so elektrisirt zurücklassen, daſs er einen Condensator zu laden vermag. Noch weniger kann der häufig aufgezeichnete Fall hieher gerechnet werden, daſs Haar von Menschen oder Thieren (die Katze wird vorzugsweise genannt), beim Streichen mit der Hand Funken gegeben habe. Trockenes Haar am lebenden oder todten Körper ist überall leicht erregbar, und Versuche, die an lebenden Katzen angestellt worden sind, hätten mit gleichem Erfolge an ihrem abgezogenen Balge vorgenommen werden können. 995

---

[1]) *Silliman am. phil. journ. Sturgeon annals** 2. 351. Repertor. der Phys.* 6. 296.

[2]) Meckel d. Archiv f. Physiologie 3. 161. Du Bois thier. Elektr.* 1. 14.

996 Nur bedingter Weise kann die von Murray aufgefundene, von Fechner[1]) bestätigte, Thatsache hier angeführt werden, daſs die frisch gezogenen Spinnefäden negativ elektrisch sind. Ein Faden, an dem eine Spinne sich herablieſs, wurde von geriebenem Glase angezogen, von geriebenem Siegellack abgestoſsen. Murray erklärte hieraus das perpendiculäre Aufsteigen von zusammengeballten Spinnefäden, die im Spätsommer häufig gefunden und mit den Namen: fliegender Sommer, Marienfäden (fils de la vierge) belegt werden. Da nämlich, wie wir später sehen werden, die Atmosphäre mit der Höhe in zunehmender Stärke positiv elektrisch ist, so würden die entgegengesetzt elektrischen Gespinnste durch Anziehung in die Höhe getrieben. Der Zweifel, ob diese Elektricitätserregung hieher gehört, beruht darauf, daſs der Spinnefaden, wie der Seidenfaden durch Reibung leicht erregbar, bei seinem Austreten aus der Spinnwarze von dieser und den Hinterbeinen der Spinne gerieben wird. Ist aber Reibung die unmittelbare Ursache der Elektricität, so wird diese nur zufällig durch eine Operation erregt, die an das Leben des Thieres gebunden ist.

997 Die einzige Thatsache einer Erregung von Elektricität durch einen Proceſs des thierischen Lebens ist an jenen merkwürdigen Geschöpfen, den elektrischen Fischen, beobachtet worden, die, mit eigenen dazu dienlichen Organen versehen, nach Willkür die heftigsten Schläge zu ertheilen vermögen. Santi Linari[2]) hat zuerst an dem Zitterrochen (raja torpedo) Divergenz eines Elektroskops erhalten. Der Fisch wurde durch einen Drath mit der Collectorplatte eines Condensators verbunden, und gereizt, während jene Verbindung unterbrochen wurde. Nach Abhebung der Condensatorplatte divergirten die Strohhalme des Elektroskops um mehrere Grade, und zwar mit positiver Elektricität, wenn der Verbindungsdrath an den Rücken, mit negativer, wenn er an den Bauch des Fisches angelegt war. An einem Multiplicator wurde eine Ablenkung der Nadel in der Richtung erhalten, die mit den

---

[1]) Biot Experimentalphysik* 2. 345.

[2]) *Compt. rendus.** 1837. *I.* 326. Poggendorff Annalen* 40. 648.

Anzeigen des Elektroskops übereinstimmte. Eine Lösung von [997] salpetersaurem Silberoxyd wurde durch die Elektricität des Fisches zersetzt. Schönbein[1]) setzte auf Kopf und Schwanz eines gymnotus electricus von 40 Zoll Länge Kupfersättel, die mit langen Kupferdräthen versehen waren. Die Sättel waren bis auf ihre unteren Flächen, die auf dem Fisch·auflagen, mit Kautschuk bekleidet. In einer Glasglocke waren, von einander isolirt, zwei Goldblättchen an Stiften aufgehängt, die durch die Wölbung der Glocke hindurchgingen. Als die Dräthe mit den Stiften in Berührung gesetzt waren, zogen die Goldblättchen einander an, ein Funke sprang zwischen ihnen über, und verbrannte einen Theil der Blättchen. Auf Papier, das mit Jodkalium genäfst war, gesetzt, brachten die Dräthe eine Zersetzung hervor; Jod wurde unter dem Drathe ausgeschieden, der zu dem Kopfe des Fisches führte. Durch die Windungen eines Multiplicators geleitet, lenkte die Elektricität des Fisches die Nadel um 42 Grade ab, in der Richtung, welche mit der Zersetzung übereinstimmte, nämlich so, dafs der Multiplicatordrath von dem Kopfe des Fisches positive Elektricität erhalten haben mufste.

---

[1]) Beobacht. üb. elektr. Wirkung d. Zitteraals. Bas. 1841.* 11.

996 Nur bedingter Weise kann die von Murray aufgefundene, von Fechner[1]) bestätigte, Thatsache hier angeführt werden, daſs die frisch gezogenen Spinnefäden negativ elektrisch sind. Ein Faden, an dem eine Spinne sich herablieſs, wurde von geriebenem Glase angezogen, von geriebenem Siegellack abgestoſsen. Murray erklärte hieraus das perpendiculäre Aufsteigen von zusammengeballten Spinnefäden, die im Spätsommer häufig gefunden und mit den Namen: fliegender Sommer, Marienfäden (fils de la vierge) belegt werden. Da nämlich, wie wir später sehen werden, die Atmosphäre mit der Höhe in zunehmender Stärke positiv elektrisch ist, so würden die entgegengesetzt elektrischen Gespinnste durch Anziehung in die Höhe getrieben. Der Zweifel, ob diese Elektricitätserregung hieher gehört, beruht darauf, daſs der Spinnefaden, wie der Seidenfaden durch Reibung leicht erregbar, bei seinem Austreten aus der Spinnwarze von dieser und den Hinterbeinen der Spinne gerieben wird. Ist aber Reibung die unmittelbare Ursache der Elektricität, so wird diese nur zufällig durch eine Operation erregt, die an das Leben des Thieres gebunden ist.

997 Die einzige Thatsache einer Erregung von Elektricität durch einen Proceſs des thierischen Lebens ist an jenen merkwürdigen Geschöpfen, den elektrischen Fischen, beobachtet worden, die, mit eigenen dazu dienlichen Organen versehen, nach Willkür die heftigsten Schläge zu ertheilen vermögen. Santi Linari[2]) hat zuerst an dem Zitterrochen (raja torpedo) Divergenz eines Elektroskops erhalten. Der Fisch wurde durch einen Drath mit der Collectorplatte eines Condensators verbunden, und gereizt, während jene Verbindung unterbrochen wurde. Nach Abhebung der Condensatorplatte divergirten die Strohhalme des Elektroskops um mehrere Grade, und zwar mit positiver Elektricität, wenn der Verbindungsdrath an den Rücken, mit negativer, wenn er an den Bauch des Fisches angelegt war. An einem Multiplicator wurde eine Ablenkung der Nadel in der Richtung erhalten, die mit den

---

[1]) Biot Experimentalphysik* 2. 845.

[2]) *Compt. rendu.** 1837. *I.* 326. Poggendorff Annalen* 40. 643.

Anzeigen des Elektroskops übereinstimmte. Eine Lösung von [997] salpetersaurem Silberoxyd wurde durch die Elektricität des Fisches zersetzt. Schönbein[1]) setzte auf Kopf und Schwanz eines gymnotus electricus von 40 Zoll Länge Kupfersättel, die mit langen Kupferdräthen versehen waren. Die Sättel waren bis auf ihre unteren Flächen, die auf dem Fisch auflagen, mit Kautschuk bekleidet. In einer Glasglocke waren, von einander isolirt, zwei Goldblättchen an Stiften aufgehängt, die durch die Wölbung der Glocke hindurchgingen. Als die Dräthe mit den Stiften in Berührung gesetzt waren, zogen die Goldblättchen einander an, ein Funke sprang zwischen ihnen über, und verbrannte einen Theil der Blättchen. Auf Papier, das mit Jodkalium genäſst war, gesetzt, brachten die Dräthe eine Zersetzung hervor; Jod wurde unter dem Drathe ausgeschieden, der zu dem Kopfe des Fisches führte. Durch die Windungen eines Multiplicators geleitet, lenkte die Elektricität des Fisches die Nadel um 42 Grade ab, in der Richtung, welche mit der Zersetzung übereinstimmte, nämlich so, daſs der Multiplicatordrath von dem Kopfe des Fisches positive Elektricität erhalten haben muſste.

---

[1]) Beobacht. üb. elektr. Wirkung d. Zitteraals. Bas. 1841.* 11.

996 Nur bedingter Weise kann die von Murray aufgefundene, von Fechner[1]) bestätigte, Thatsache hier angeführt werden, dafs die frisch gezogenen Spinnefäden negativ elektrisch sind. Ein Faden, an dem eine Spinne sich herabliefs, wurde von geriebenem Glase angezogen, von geriebenem Siegellack abgestofsen. Murray erklärte hieraus das perpendiculäre Aufsteigen von zusammengeballten Spinnefäden, die im Spätsommer häufig gefunden und mit den Namen: fliegender Sommer, Marienfäden (fils de la vierge) belegt werden. Da nämlich, wie wir später sehen werden, die Atmosphäre mit der Höhe in zunehmender Stärke positiv elektrisch ist, so würden die entgegengesetzt elektrischen Gespinnste durch Anziehung in die Höhe getrieben. Der Zweifel, ob diese Elektricitätserregung hieher gehört, beruht darauf, dafs der Spinnefaden, wie der Seidenfaden durch Reibung leicht erregbar, bei seinem Austreten aus der Spinnwarze von dieser und den Hinterbeinen der Spinne gerieben wird. Ist aber Reibung die unmittelbare Ursache der Elektricität, so wird diese nur zufällig durch eine Operation erregt, die an das Leben des Thieres gebunden ist.

997 Die einzige Thatsache einer Erregung von Elektricität durch einen Procefs des thierischen Lebens ist an jenen merkwürdigen Geschöpfen, den elektrischen Fischen, beobachtet worden, die, mit eigenen dazu dienlichen Organen versehen, nach Willkür die heftigsten Schläge zu ertheilen vermögen. Santi Linari[2]) hat zuerst an dem Zitterrochen (raja torpedo) Divergenz eines Elektroskops erhalten. Der Fisch wurde durch einen Drath mit der Collectorplatte eines Condensators verbunden, und gereizt, während jene Verbindung unterbrochen wurde. Nach Abhebung der Condensatorplatte divergirten die Strohhalme des Elektroskops um mehrere Grade, und zwar mit positiver Elektricität, wenn der Verbindungsdrath an den Rücken, mit negativer, wenn er an den Bauch des Fisches angelegt war. An einem Multiplicator wurde eine Ablenkung der Nadel in der Richtung erhalten, die mit den

---

[1]) Biot Experimentalphysik* 2. 345.
[2]) *Compt. rendu.** 1837. *I.* 326. Poggendorff Annalen* 40. 643.

Anzeigen des Elektroskops übereinstimmte. Eine Lösung von [997] salpetersaurem Silberoxyd wurde durch die Elektricität des Fisches zersetzt. Schönbein[1]) setzte auf Kopf und Schwanz eines gymnotus electricus von 40 Zoll Länge Kupfersättel, die mit langen Kupferdräthen versehen waren. Die Sättel waren bis auf ihre unteren Flächen, die auf dem Fisch auflagen, mit Kautschuk bekleidet. In einer Glasglocke waren, von einander isolirt, zwei Goldblättchen an Stiften aufgehängt, die durch die Wölbung der Glocke hindurchgingen. Als die Dräthe mit den Stiften in Berührung gesetzt waren, zogen die Goldblättchen einander an, ein Funke sprang zwischen ihnen über, und verbrannte einen Theil der Blättchen. Auf Papier, das mit Jodkalium genäfst war, gesetzt, brachten die Dräthe eine Zersetzung hervor; Jod wurde unter dem Drathe ausgeschieden, der zu dem Kopfe des Fisches führte. Durch die Windungen eines Multiplicators geleitet, lenkte die Elektricität des Fisches die Nadel um 42 Grade ab, in der Richtung, welche mit der Zersetzung übereinstimmte, nämlich so, dafs der Multiplicatordrath von dem Kopfe des Fisches positive Elektricität erhalten haben mufste.

---

[1]) Beobacht. üb. elektr. Wirkung d. Zitteraals. Bas. 1841.* 11.

Drittes Kapitel.

Elektricitätserregung durch Temperaturänderung.

Elektricität an erwärmten Metallen.

998 An den Enden einer Kette, die von zwei gliedweise abwechselnden Metallen gebildet und bei durchgängig gleicher Temperatur unelektrisch ist, tritt Elektricität auf, wenn bestimmte Stellen an ihr erwärmt oder erkältet werden. Die Art der erregten Elektricität führt nothwendig zu der Annahme, dafs die Dichtigkeit der durch Berührung zweier Metalle erregten Elektricität nicht unabhängig von der Temperatur der Metalle ist, sondern bei denselben Metallen zunimmt mit steigender Temperatur. Wie gering auch diese Zunahme der Dichtigkeit sein mag, die bei einzelnen Metallpaaren gänzlich unbemerkt bleibt und deshalb früher in Abrede gestellt wurde (§. 970.), so macht sie es möglich, dafs mit zwei Metallen Säulen gebildet werden können, die, wie die voltaischen Säulen, an ihren Polen entgegengesetzte Elektricitäten zeigen. Man denke sich eine Anzahl von Dräthen zweier Metalle, die abwechselnd Ende an Ende an einander gelöthet sind, wie in Fig. 186, wo die dunkeln Streifen Neusilber, die hellen Eisendräthe bezeichnen sollen. Bei gleicher Temperatur wird diese Kette, dem Gesetze der Berührungselektricität gemäfs (§. 972.), weder an ihrem Ende *A* noch an *B* Elektricität zeigen, weil die Dichtigkeit der an den Löthstellen 1, 3, 5 erregten Elektricität der an 2, 4, 6 erregten gleich, die Zeichen aber in der Richtung nach einem Pole entgegengesetzt sind. Der Pol *A* würde von den ungeraden Löthstellen die Elektricität des Neusilbers (negative), von den geraden die des Eisens erhalten, und beide Elektricitäten würden, da sie gleiche Dichtigkeit besitzen, einander aufheben. Erwärmt man aber die ungeraden Löthstellen, so soll die Dichtigkeit der an diesen Stellen erregten Elektricität gröfser sein, als an den, ihre frü-

here Temperatur bewahrenden, geraden Löthstellen, und es [998] wird eine Anhäufung von negativer Elektricität an *A*, eine von positiver an *B* eintreten. Wie man sogleich sieht, tritt derselbe Erfolg ein, wenn man, statt die ungeraden Stellen zu erwärmen, die geraden erkältet. Um die Temperaturänderungen bequem vornehmen zu können, werden zur Ausführung eines solchen Versuches die Dräthe in Zickzackform an einander gelöthet (Fig. 187.) und, da die Zahl der Drathpaare grofs sein mufs, in die Form eines Parallelepipedum gestellt, an dem jede von zwei einander gegenüberliegenden Flächen von gleichnamigen Löthstellen gebildet wird.

999 Die Dichtigkeit der Elektricität an den Polen einer solchen Metallreihe, die *thermoëlektrische Säule* genannt wird, steigt mit der Zahl der Metallpaare und der Differenz der Temperaturen an den ungleichnamigen Löthstellen. Um bei einer geringen Temperaturdifferenz die erregte Elektricität aufzeigen zu können, bedurfte Kohlrausch[1]) einer Säule von 769 Paaren, die noch einmal so viele Löthstellen enthielt. Jedes Paar bestand aus einem, $2\frac{1}{2}$ Zoll langen, $\frac{1}{5}$ Lin. dicken Eisendrathe und einem mit Zinn daran gelötheten schmalen Streifen von Neusilberblech, und war in Siegellack eingelassen; den einzelnen Reihen von Paaren war durch Holzlatten Festigkeit gegeben. Beide Pole der Säule bestanden aus Eisen und befanden sich an derselben Fläche, die bei Aufstellung der Säule die obere wurde. Der untere Theil der Säule war in eine blechene Büchse dicht eingeschlossen, und diese in einen Behälter mit erwärmtem Wasser gesetzt, dicht über der oberen Fläche eine Schüssel mit Schnee angebracht. Dennoch konnte die höchste dadurch hervorgebrachte Temperaturdifferenz der beiden Flächen der Säule nur auf 10 bis 15° R. geschätzt werden. So lange die Thermoapparate nicht an der Säule angebracht waren, lud keiner ihrer beiden Pole den Condensator; die Ladung trat erst nach Erwärmung des Wassers im Behälter ein, die durch eine untergesetzte Alkohollampe bewirkt wurde, und stieg mit der Erwärmung. Der Pol, der an den warmen Löthstellen der

---

[1]) Poggendorff Annalen* 82. 412.

Drittes Kapitel.

Elektricitätserregung durch Temperaturänderung.

Elektricität an erwärmten Metallen.

998 An den Enden einer Kette, die von zwei gliedweise abwechselnden Metallen gebildet und bei durchgängig gleicher Temperatur unelektrisch ist, tritt Elektricität auf, wenn bestimmte Stellen an ihr erwärmt oder erkältet werden. Die Art der erregten Elektricität führt nothwendig zu der Annahme, daſs die Dichtigkeit der durch Berührung zweier Metalle erregten Elektricität nicht unabhängig von der Temperatur der Metalle ist, sondern bei denselben Metallen zunimmt mit steigender Temperatur. Wie gering auch diese Zunahme der Dichtigkeit sein mag, die bei einzelnen Metallpaaren gänzlich unbemerkt bleibt und deshalb früher in Abrede gestellt wurde (§. 970.), so macht sie es möglich, daſs mit zwei Metallen Säulen gebildet werden können, die, wie die voltaischen Säulen, an ihren Polen entgegengesetzte Elektricitäten zeigen. Man denke sich eine Anzahl von Dräthen zweier Metalle, die abwechselnd Ende an Ende an einander gelöthet sind, wie in Fig. 186, wo die dunkeln Streifen Neusilber, die hellen Eisendräthe bezeichnen sollen. Bei gleicher Temperatur wird diese Kette, dem Gesetze der Berührungselektricität gemäſs (§. 972.), weder an ihrem Ende *A* noch an *B* Elektricität zeigen, weil die Dichtigkeit der an den Löthstellen 1, 3, 5 erregten Elektricität der an 2, 4, 6 erregten gleich, die Zeichen aber in der Richtung nach einem Pole entgegengesetzt sind. Der Pol *A* würde von den ungeraden Löthstellen die Elektricität des Neusilbers (negative), von den geraden die des Eisens erhalten, und beide Elektricitäten würden, da sie gleiche Dichtigkeit besitzen, einander aufheben. Erwärmt man aber die ungeraden Löthstellen, so soll die Dichtigkeit der an diesen Stellen erregten Elektricität gröſser sein, als an den, ihre frü-

here Temperatur bewahrenden, geraden Löthstellen, und es [998] wird eine Anhäufung von negativer Elektricität an *A*, eine von positiver an *B* eintreten. Wie man sogleich sieht, tritt derselbe Erfolg ein, wenn man, statt die ungeraden Stellen zu erwärmen, die geraden erkältet. Um die Temperaturänderungen bequem vornehmen zu können, werden zur Ausführung eines solchen Versuches die Dräthe in Zickzackform an einander gelöthet (Fig. 187.) und, da die Zahl der Drathpaare grofs sein mufs, in die Form eines Parallelepipedum gestellt, an dem jede von zwei einander gegenüberliegenden Flächen von gleichnamigen Löthstellen gebildet wird.

999 Die Dichtigkeit der Elektricität an den Polen einer solchen Metallreihe, die *thermoëlektrische Säule* genannt wird, steigt mit der Zahl der Metallpaare und der Differenz der Temperaturen an den ungleichnamigen Löthstellen. Um bei einer geringen Temperaturdifferenz die erregte Elektricität aufzeigen zu können, bedurfte Kohlrausch[1]) einer Säule von 769 Paaren, die noch einmal so viele Löthstellen enthielt. Jedes Paar bestand aus einem, $2\frac{1}{2}$ Zoll langen, $\frac{1}{5}$ Lin. dicken Eisendrathe und einem mit Zinn daran gelötheten schmalen Streifen von Neusilberblech, und war in Siegellack eingelassen; den einzelnen Reihen von Paaren war durch Holzlatten Festigkeit gegeben. Beide Pole der Säule bestanden aus Eisen und befanden sich an derselben Fläche, die bei Aufstellung der Säule die obere wurde. Der untere Theil der Säule war in eine blechene Büchse dicht eingeschlossen, und diese in einen Behälter mit erwärmtem Wasser gesetzt, dicht über der oberen Fläche eine Schüssel mit Schnee angebracht. Dennoch konnte die höchste dadurch hervorgebrachte Temperaturdifferenz der beiden Flächen der Säule nur auf 10 bis 15° R. geschätzt werden. So lange die Thermoapparate nicht an der Säule angebracht waren, lud keiner ihrer beiden Pole den Condensator; die Ladung trat erst nach Erwärmung des Wassers im Behälter ein, die durch eine untergesetzte Alkohollampe bewirkt wurde, und stieg mit der Erwärmung. Der Pol, der an den warmen Löthstellen der

[1]) Poggendorff Annalen 82. 412.

Drittes Kapitel.

Elektricitätserregung durch Temperaturänderung.

Elektricität an erwärmten Metallen.

998 An den Enden einer Kette, die von zwei gliedweise abwechselnden Metallen gebildet und bei durchgängig gleicher Temperatur unelektrisch ist, tritt Elektricität auf, wenn bestimmte Stellen an ihr erwärmt oder erkältet werden. Die Art der erregten Elektricität führt nothwendig zu der Annahme, daſs die Dichtigkeit der durch Berührung zweier Metalle erregten Elektricität nicht unabhängig von der Temperatur der Metalle ist, sondern bei denselben Metallen zunimmt mit steigender Temperatur. Wie gering auch diese Zunahme der Dichtigkeit sein mag, die bei einzelnen Metallpaaren gänzlich unbemerkt bleibt und deshalb früher in Abrede gestellt wurde (§. 970.), so macht sie es möglich, daſs mit zwei Metallen Säulen gebildet werden können, die, wie die voltaischen Säulen, an ihren Polen entgegengesetzte Elektricitäten zeigen. Man denke sich eine Anzahl von Dräthen zweier Metalle, die abwechselnd Ende an Ende an einander gelöthet sind, wie in Fig. 186, wo die dunkeln Streifen Neusilber, die hellen Eisendräthe bezeichnen sollen. Bei gleicher Temperatur wird diese Kette, dem Gesetze der Berührungselektricität gemäſs (§. 972.), weder an ihrem Ende *A* noch an *B* Elektricität zeigen, weil die Dichtigkeit der an den Löthstellen 1, 3, 5 erregten Elektricität der an 2, 4, 6 erregten gleich, die Zeichen aber in der Richtung nach einem Pole entgegengesetzt sind. Der Pol *A* würde von den ungeraden Löthstellen die Elektricität des Neusilbers (negative), von den geraden die des Eisens erhalten, und beide Elektricitäten würden, da sie gleiche Dichtigkeit besitzen, einander aufheben. Erwärmt man aber die ungeraden Löthstellen, so soll die Dichtigkeit der an diesen Stellen erregten Elektricität gröſser sein, als an den, ihre frü-

here Temperatur bewahrenden, geraden Löthstellen, und es [998] wird eine Anhäufung von negativer Elektricität an *A*, eine von positiver an *B* eintreten. Wie man sogleich sieht, tritt derselbe Erfolg ein, wenn man, statt die ungeraden Stellen zu erwärmen, die geraden erkältet. Um die Temperaturänderungen bequem vornehmen zu können, werden zur Ausführung eines solchen Versuches die Dräthe in Zickzackform an einander gelöthet (Fig. 187.) und, da die Zahl der Drathpaare groſs sein muſs, in die Form eines Parallelepipedum gestellt, an dem jede von zwei einander gegenüberliegenden Flächen von gleichnamigen Löthstellen gebildet wird.

999 Die Dichtigkeit der Elektricität an den Polen einer solchen Metallreihe, die *thermoëlektrische Säule* genannt wird, steigt mit der Zahl der Metallpaare und der Differenz der Temperaturen an den ungleichnamigen Löthstellen. Um bei einer geringen Temperaturdifferenz die erregte Elektricität aufzeigen zu können, bedurfte Kohlrausch[1]) einer Säule von 769 Paaren, die noch einmal so viele Löthstellen enthielt. Jedes Paar bestand aus einem, $2\frac{1}{2}$ Zoll langen, $\frac{1}{5}$ Lin. dicken Eisendrathe und einem mit Zinn daran gelötheten schmalen Streifen von Neusilberblech, und war in Siegellack eingelassen; den einzelnen Reihen von Paaren war durch Holzlatten Festigkeit gegeben. Beide Pole der Säule bestanden aus Eisen und befanden sich an derselben Fläche, die bei Aufstellung der Säule die obere wurde. Der untere Theil der Säule war in eine blechene Büchse dicht eingeschlossen, und diese in einen Behälter mit erwärmtem Wasser gesetzt, dicht über der oberen Fläche eine Schüssel mit Schnee angebracht. Dennoch konnte die höchste dadurch hervorgebrachte Temperaturdifferenz der beiden Flächen der Säule nur auf 10 bis 15° R. geschätzt werden. So lange die Thermoapparate nicht an der Säule angebracht waren, lud keiner ihrer beiden Pole den Condensator; die Ladung trat erst nach Erwärmung des Wassers im Behälter ein, die durch eine untergesetzte Alkohollampe bewirkt wurde, und stieg mit der Erwärmung. Der Pol, der an den warmen Löthstellen der

[1]) Poggendorff Annalen 82. 412.

Drittes Kapitel.

Elektricitätserregung durch Temperaturänderung.

Elektricität an erwärmten Metallen.

998 An den Enden einer Kette, die von zwei gliedweise abwechselnden Metallen gebildet und bei durchgängig gleicher Temperatur unelektrisch ist, tritt Elektricität auf, wenn bestimmte Stellen an ihr erwärmt oder erkältet werden. Die Art der erregten Elektricität führt nothwendig zu der Annahme, daſs die Dichtigkeit der durch Berührung zweier Metalle erregten Elektricität nicht unabhängig von der Temperatur der Metalle ist, sondern bei denselben Metallen zunimmt mit steigender Temperatur. Wie gering auch diese Zunahme der Dichtigkeit sein mag, die bei einzelnen Metallpaaren gänzlich unbemerkt bleibt und deshalb früher in Abrede gestellt wurde (§. 970.), so macht sie es möglich, daſs mit zwei Metallen Säulen gebildet werden können, die, wie die voltaischen Säulen, an ihren Polen entgegengesetzte Elektricitäten zeigen. Man denke sich eine Anzahl von Dräthen zweier Metalle, die abwechselnd Ende an Ende an einander gelöthet sind, wie in Fig. 186, wo die dunkeln Streifen Neusilber, die hellen Eisendräthe bezeichnen sollen. Bei gleicher Temperatur wird diese Kette, dem Gesetze der Berührungselektricität gemäſs (§. 972.), weder an ihrem Ende *A* noch an *B* Elektricität zeigen, weil die Dichtigkeit der an den Löthstellen 1, 3, 5 erregten Elektricität der an 2, 4, 6 erregten gleich, die Zeichen aber in der Richtung nach einem Pole entgegengesetzt sind. Der Pol *A* würde von den ungeraden Löthstellen die Elektricität des Neusilbers (negative), von den geraden die des Eisens erhalten, und beide Elektricitäten würden, da sie gleiche Dichtigkeit besitzen, einander aufheben. Erwärmt man aber die ungeraden Löthstellen, so soll die Dichtigkeit der an diesen Stellen erregten Elektricität gröſser sein, als an den, ihre frü-

here Temperatur bewahrenden, geraden Löthstellen, und es [998] wird eine Anhäufung von negativer Elektricität an *A*, eine von positiver an *B* eintreten. Wie man sogleich sieht, tritt derselbe Erfolg ein, wenn man, statt die ungeraden Stellen zu erwärmen, die geraden erkältet. Um die Temperaturänderungen bequem vornehmen zu können, werden zur Ausführung eines solchen Versuches die Dräthe in Zickzackform an einander gelöthet (Fig. 187.) und, da die Zahl der Drathpaare grofs sein mufs, in die Form eines Parallelepipedum gestellt, an dem jede von zwei einander gegenüberliegenden Flächen von gleichnamigen Löthstellen gebildet wird.

999 Die Dichtigkeit der Elektricität an den Polen einer solchen Metallreihe, die *thermoëlektrische Säule* genannt wird, steigt mit der Zahl der Metallpaare und der Differenz der Temperaturen an den ungleichnamigen Löthstellen. Um bei einer geringen Temperaturdifferenz die erregte Elektricität aufzeigen zu können, bedurfte Kohlrausch[1]) einer Säule von 769 Paaren, die noch einmal so viele Löthstellen enthielt. Jedes Paar bestand aus einem, $2\frac{1}{2}$ Zoll langen, $\frac{1}{5}$ Lin. dicken Eisendrathe und einem mit Zinn daran gelötheten schmalen Streifen von Neusilberblech, und war in Siegellack eingelassen; den einzelnen Reihen von Paaren war durch Holzlatten Festigkeit gegeben. Beide Pole der Säule bestanden aus Eisen und befanden sich an derselben Fläche, die bei Aufstellung der Säule die obere wurde. Der untere Theil der Säule war in eine blechene Büchse dicht eingeschlossen, und diese in einen Behälter mit erwärmtem Wasser gesetzt, dicht über der oberen Fläche eine Schüssel mit Schnee angebracht. Dennoch konnte die höchste dadurch hervorgebrachte Temperaturdifferenz der beiden Flächen der Säule nur auf 10 bis 15° R. geschätzt werden. So lange die Thermoapparate nicht an der Säule angebracht waren, lud keiner ihrer beiden Pole den Condensator; die Ladung trat erst nach Erwärmung des Wassers im Behälter ein, die durch eine untergesetzte Alkohollampe bewirkt wurde, und stieg mit der Erwärmung. Der Pol, der an den warmen Löthstellen der

[1]) Poggendorff Annalen* 82. 412.

[1008] Hand gefaſst, das andere Ende leicht auf Tuch gerieben, und dann den Krystall isolirt. Er fand das geriebene Ende positiv, das nicht geriebene Ende negativ elektrisch. Aber eine Glaslinse von der Gröſse des Turmalins gab bei gleicher Behandlung ein gleiches Resultat, das seine Erklärung fand in der durch Influenz erregten Elektricität an der Stelle, wo der geriebene Körper durch die Finger eine Ableitung erhalten hatte. In den angeführten Fällen ist die Erscheinung einfach, weil nur einmal (durch Mittheilung oder Reiben) Elektricität direct erregt wurde, da hingegen bei einem erwärmten Krystalle, an welchem die Elektricitätserregung während der Untersuchung fortdauert, verwickelte Erfolge eintreten. Auffallende Elektricitätsäuſserungen der erwähnten Art sind häufig als Eigenheiten der pyroëlektrischen Krystalle angeführt worden, die sie indeſs durchaus nicht sind, und daher hier keine weitere Erwähnung erhalten.

1009 Nachdem Aepinus die Pyroëlektricität des Turmalins entdeckt hatte, wurde dieselbe Eigenschaft von Canton am brasilianischen Topase, von Brard am Axinit, von Haüy am Borazit, Skolezit, Prehnit, Kieselzinkerz, Titanit, von Brewster am Mesolith, Quarz und einigen künstlichen, aus wässerigen Auflösungen erhaltenen Krystallen nachgewiesen. Die eigenthümlich elektrischen Aeuſserungen sind überall dieselben, und es würde die besondere Betrachtung der einzelnen Krystallarten von keinem Interesse sein, wenn nicht ein merkwürdiger Zusammenhang bestände zwischen der Form und der elektrischen Polarität der Krystalle. Haüy [1]) machte zuerst am Turmaline und Borazite die Bemerkung, die er auf alle pyroëlektrischen Krystalle ausdehnte, daſs die verschieden elektrischen Pole an ihnen natürlich bezeichnet sind, so daſs sich aus der Ansicht des Krystalles mit Sicherheit vorherbestimmen läſst, welches Ende bei Erwärmung positiv, welches negativ wird. Es ist dazu nöthig, daſs mindestens Ein Pol des Krystalles noch seine natürlichen Flächen besitzt. Wir werden hiermit an die Krystallographie gewiesen, welche die

---

[1]) *Traité de minéralogie* 3. 15. Haüy Grundlehren d. Phys. Weimar 1804* §. 459. B. 1. 488.

unterschiedliche Gestaltung der Pole, die ihre natürliche Bezeichnung ausmacht, an den einzelnen Krystallarten hervorzuheben hat. Diese sehr umfangreiche Untersuchung ist von Köhler [1]) für Turmalin, Borazit und Kieselzinkerz begonnen, von Gustav Rose [2]) für Turmalin fortgesetzt, von Hankel [3]) und endlich gemeinschaftlich von Rose und mir [4]) für eine gröſsere Anzahl von Krystallen ausgeführt worden. Ich werde aus der letztgenannten Abhandlung das Nöthigste beibringen, muſs mich aber auf die am häufigsten vorkommenden Krystallgestalten beschränken, und kann bei diesen nur auf die, zur Bestimmung der Pole, wichtigsten Flächen aufmerksam machen. [1009]

[1010] Ehe ich zur Beschreibung der einzelnen Versuche übergehe, ist eine Eigenthümlichkeit der Form hervorzuheben, die allen geprüften Krystallen gemeinsam ist. Bei der Beschreibung einer Krystallgestalt geht man von einer einfachen Körperform aus, an der man die gleichnamigen Theile, Ecken und Kanten, durch neue Flächen verändert. Denkt man sich die Veränderungsflächen allein vorhanden, so bilden diese gleichfalls eine einfache Körperform, so daſs man in Wirklichkeit die Krystallgestalt construirt durch Combination von zwei oder mehreren bekannten Körperformen. Die Combination findet sich an den Krystallen in zwiefacher Weise ausgeführt; entweder so, daſs alle Flächen der einen Form mit allen Flächen der andern combinirt sind, und dann werden beide Formen als *homoëdrische* bezeichnet, oder so, daſs von der einen Form die Hälfte der Flächen fehlt, welche Form dann *hemiëdrisch* genannt wird. Auch die Combination selbst wird danach als homoëdrische oder hemiëdrische bezeichnet. Ein einfaches Beispiel hat man an der Combination des Würfels mit dem Octaëder, die homoëdrisch einen Würfel darstellt, der an seinen 8 Ecken abgestumpft ist, und hemiëdrisch einen Würfel mit nur 4 abgestumpften Ecken, die mit vollkommenen Ecken abwechseln (Fig. 188.). Die Gestalt der pyroëlektrischen Krystalle hat das Eigenthümliche, daſs sie durch Combination

---

[1]) Poggend. Annal.* 17. 146. [2]) Abhandlung. d. Akadem. Berl. 1836.*
[3]) Poggend. Annalen* Bd. 49. 493. Bd. 50. 237. 471. 605. Bd. 56. 37. 58.
[4]) Abhandl. d. Akad. Berl. 1843.*

[1010] einer homoëdrischen Form mit einer hemiëdrischen entsteht, welche letztere keine parallelen Flächen besitzt, und von Rose *polarisch-hemiëdrische* Form genannt wird. In dem angeführten Beispiele bilden die 4 Abstufungsflächen der Würfelecken eine polarisch-hemiëdrische Form, das Tetraëder. Die Pyroëlektricität setzt diese eigene Gestalt des Krystalles voraus, nicht aber umgekehrt, so daſs viele Combinationen mit polarisch-hemiëdrischen Formen vorkommen an Krystallen, die nicht pyroëlektrisch sind. In dem Folgenden wird die Kenntniſs der Elemente der Krystallographie vorausgesetzt, die aus dem Handbuche gleichen Titels von G. Rose (Berlin 1838) entnommen werden kann.

Natürliche pyroëlektrische Krystalle.

1011 Die Prüfung der Krystalle wurde an einem Säulenelektroskope vorgenommen, dessen Stift zur bequemen Anlegung der Krystallflächen in einem abgestumpften Kegel endigte. Auſser der früher bei jenem Elektroskope empfohlenen Vorsicht (§. 18.) ist hier noch zu merken, daſs einige der zu prüfenden Krystalle sehr leicht durch Reibung elektrisch werden. Hat man einen solchen Krystall nicht vorsichtig genug an den messingenen Stift angelegt, so erhält man zuerst Anzeige von negativer Elektricität, die dem geriebenen Messing zugehört; da man vor dem folgenden Anlegen des Krystalles den Stift ableitend berührt, so kommt später die durch Reibung entstandene positive Elektricität zur Anzeige. Zum bequemen Anlegen wurde der Krystall in einer Zange befestigt, die mit Kork gefüttert war, theils der besseren Befestigung, theils der Isolirung wegen. Letztere wird sicherer dadurch erlangt, daſs die Schenkel der Zange zum Theil aus Glas verfertigt werden. Trockener Kork wird durch Druck gegen einen Krystall elektrisch (§. 945.), und behält diese Elektricität eine geraume Zeit; es ist daher nöthig, wenn man gleich nach der Befestigung des Krystalles die Untersuchung beginnen will, den Kork mit Stanniol zu bekleiden, oder den befestigten Krystall in Wasser zu tauchen. Zur Untersuchung der Elektricität bei Abkühlung wurde der Krystall in einem Schrot-

bade erhitzt. Das Bleischrot (feinster Sorte) befand sich in [1011] einem Porzellantiegel, und war zur Erde abgeleitet, um die bei dem Einlegen des Krystalles und bei seiner Erwärmung erregte Elektricität fortzuschaffen. Der Krystall blieb, je nach seiner Masse, eine längere oder kürzere Zeit in dem Tiegel, um die Temperatur anzunehmen, die ein neben ihm in das Schrot versenktes Thermometer angab. Wo bei dem Herausheben des Krystalles die durch Reibung gegen das Schrot erregte Elektricität gefürchtet wurde, wie bei den schwach erregbaren Krystallen, wurde diese Elektricität durch augenblickliches Hindurchführen des Krystalles durch eine Alkoholflamme beseitigt. Dasselbe äufserst wirksame Mittel wurde angewendet, um die nach längerer Zeit der Erkaltung auf einem Krystalle angehäufte Elektricität zu entfernen. Da die Erwärmung eines der Untersuchung zugänglichen Krystalles niemals so gleichförmig sein kann, wie seine Abkühlung, so wurden die meisten elektrischen Prüfungen während der Abkühlung vorgenommen. Zur Controle dieser Bestimmungen wurden aber auch einzelne Krystalle während ihrer Erwärmung untersucht, indem ein Ende des Krystalles in einer Flamme erhitzt, und das entgegengesetzte, also kalte Ende, an das Elektroskop angelegt wurde. Man erhielt dann die Elektricität des angelegten Endes während seiner Erwärmung, und diese Elektricität ging nach einiger Zeit durch Null in die entgegengesetzte über, die der Erkaltung zugehörte. Hatte der Krystall mehr als Zolleslänge, so wurde nicht sein Ende, sondern ein Stück des Krystalles, erhitzt, das der untersuchten Stelle näher als jenes lag. Zum Aufsuchen der elektrischen Pole eignet sich diese Untersuchungsart nicht, wohl aber, um die Elektricität eines schon bestimmten Pols zu bestätigen.

1012 Der Turmalin. Seine Krystallform entsteht durch Combination eines sechsseitigen Prisma mit einem dreiseitigen (der hemiëdrischen Form eines zweiten sechsseitigen) Prisma, und mit verschiedenen Rhomboëdern. Die am häufigsten vorkommende Gestalt ist die eines neunseitigen Prisma, indem entweder das dreiseitige Prisma an seinen Kanten durch zwei Flächen zugeschärft, oder das sechsseitige Prisma abwechselnd an drei Kanten durch eine Fläche abgestumpft erscheint. Die

[1012] Endigungen der Säule werden durch je 3 Flächen des Hauptrhomboëders gebildet. Zuweilen sind die Flächen des dreiseitigen Prisma allein vorhanden. Die Flächen des Hauptrhomboëders sind an dem einen Ende des Krystalles auf den Flächen, an dem andern Ende auf den Kanten des dreiseitigen Prisma aufgesetzt, und dies verschiedene Verhalten giebt das Unterscheidungszeichen für die elektrischen Pole. Die Seitenkante der Prismen giebt die elektrische Axe an; das Ende des Krystalles, an dem die Flächen des Rhomboëders auf den *Flächen* des *dreiseitigen* Prisma aufgesetzt sind, enthält den *analogen*, das Ende, an dem die Rhomboëderflächen auf den *Kanten* des Prisma aufgesetzt sind, den *antilogen* Pol. In der Regel bleibt die Bestimmung der Pole nicht zweifelhaft; das dreiseitige Prisma und das Hauptrhomboëder fehlen selten, und wenn das letztere allein fehlt, läfst sich seine Lage nach den übrigen Endflächen beurtheilen. Sehr einfache Formen des Turmalins sind in Fig. 189 (Turmalin aus Arendal) und Fig. 190 (aus Grönland) abgebildet. Die Flächen des Hauptrhomboëders sind mit *R* bezeichnet, *a* giebt die sechsseitige, *g'* das dreiseitige Prisma an. Wenn man von den Flächen *g'* aufwärts geht, so stöfst man auf eine Kante, wenn abwärts, auf eine Fläche des Rhomboëders. In beiden Figuren liegt also oben der antiloge, unten der analoge Pol.

Der Turmalin wird, mit dem antilogen oder analogen Pole aufgewachsen, zuweilen auch an beiden Enden ausgebildet gefunden. Die Dichtigkeit der Elektricität bei gleicher Temperaturänderung ist an den einzelnen Exemplaren des Krystalles sehr verschieden; gewöhnlich ist die Erregung am stärksten bei den Turmalinen von reiner Masse, den hell gefärbten und durchsichtigen, doch kommen auch unter den schwarzen undurchsichtigen stark elektrische Exemplare vor. Von der mehr oder minder complicirten Gestalt scheint die Erregung nicht abzuhangen, aber wohl von den Dimensionen des Krystalles. Nach Jäger[1]) laden dicke Turmaline das Elektroskop schneller, als dünne; lange (mit langen Axen versehene) Turmaline stärker als kurze. Letzteres hat Forbes[2]) bestätigt,

[1]) Gilbert Annalen* 55. 410 u. 397.
[2]) *Lond. and Edinb. phil. journ.** 5. 133.

wogegen Becquerel das umgekehrte Verhalten angiebt. Au- [1012]
fser den leicht nachweisbaren elektroskopischen Wirkungen äufsert der Turmalin auch magnetische, die aber nur an einem sehr empfindlichen Multiplicator merklich werden. Du Bois prefste einen 11½ Lin. langen, 3¼ Lin. dicken Turmalin von schwarzer Farbe mit seinen Polen gegen zwei Platinbleche, und verband diese mit den Drathenden seines grofsen Multiplicators (§. 986.). Als der Stein durch eine Alkoholflamme erhitzt wurde, wich die Magnetnadel um 1 Grad nach einer Seite ab, und nach der entgegengesetzten, als der heifse Stein mit Schwefeläther befeuchtet wurde. Die Richtung der Ablenkung zeigte, dafs bei der Erhitzung der elektrische Strom von dem analogen, bei der Abkühlung vom antilogen Pole aus durch den Multiplicatordrath gegangen war.

1013 Das Kieselzinkerz. Die Krystalle sind 1 und 1 axig. Als Grundform wird am bequemsten ein nicht vorkommendes Rhombenoctaëder angenommen, das durch verticale und horizontale Prismen verändert ist; die Endigungen werden durch horizontale Prismen und Rhombenoctaëder gebildet. Die elektrische Axe ist durch die verticalen Prismen gegeben, der *analoge* Pol durch horizontale Prismenflächen bezeichnet, an welchen ein Rhombenoctaëder untergeordnet vorkommt, wogegen der *antiloge* Pol durch ein vorherrschendes Rhombenoctaëder gebildet ist. Die Flächen des antilogen Pols können nur an einem vollkommen ausgebildeten Krystalle bemerkt werden, da der Krystall die Eigenthümlichkeit hat, stets mit dem antilogen Pole aufzuwachsen, so dafs nur der analoge Pol mit natürlichen Flächen versehen ist. In Fig. 191 ist ein vollständig ausgebildeter Krystall von Altenberg bei Aachen abgebildet. Die gewöhnlich bei Bleiberg in Kärnthen vorkommenden Exemplare sind tafelartig von der in Fig. 192 abgebildeten Form. Die aufgewachsenen Exemplare sind häufig in büschelförmig zusammenstehenden Gruppen vorhanden. Da die vollkommen ausgebildeten Krystalle äufserst selten sind, so ist es nach der obigen Bemerkung gewöhnlich sehr leicht, ohne krystallographische Betrachtung die Polarität eines Krystalles von Kieselzinkerz zu bestimmen: das auskrystallisirte Ende des Krystalles ist analog, das abgebrochene antilog

[1013] elektrisch. Die erregte Elektricität ist sehr stark und bei der geringsten Temperaturänderung bemerklich.

1014 Der Skolezit kommt nur in stengligen, excentrisch zusammen gewachsenen Krystallen vor, von welchen daher nur Ein Ende mit natürlichen Flächen versehen ist. Da dieses Ende sich stets pyroëlektrisch gleich verhält, so ist nur die Ausbildung Eines Poles sichtbar. Rose hat indefs wahrscheinlich gemacht, dafs jeder Krystall aus zwei Individuen besteht, die um 180° gedreht zusammengewachsen sind, so dafs das Eine auskrystallisirte Ende die Endigungen beider Pole zeigt, falls diese am einfachen Krystalle vorkämen. Nach dieser Annahme ist der vollständige Krystall Fig. 193 gezeichnet, von dem das untere Ende noch nicht gesehen worden ist, und worin die gefiederte Linie die Trennungsfläche der beiden Individuen andeutet. Ebenso verhält sich ein Theil der unter dem Namen Mesolith beschriebenen, vom Skolezit in der chemischen Zusammensetzung verschiedenen Krystalle. An beiden Arten wird die elektrische Axe durch die Längenausdehnung der Stengel gegeben, der *antiloge* Pol liegt an dem freien auskrystallisirten, der *analoge* an dem aufgewachsenen Ende der Krystalle. Selbst an Bruchstücken der Krystalle läfst sich gewöhnlich erkennen, nach welcher Seite die Stengel convergiren, und eben da ist der analoge Pol zu suchen. Häufig verläuft das Krystallbündel an dem Convergenzpunkte in eine faserige, dichte Masse, die unelektrisch ist, und erst pyroëlektrisch an der Stelle wird, wo sich deutliche Krystallnadeln unterscheiden lassen. Der Skolezit ist sehr leicht erregbar, darf aber, seines Wassergehaltes wegen, nicht über 80° erwärmt werden. Merkwürdig ist, dafs Brewster [1]) Skolezit und Mesolith, die er durch Glühen ihres Krystallwassers beraubt und in ein weifses Pulver verwandelt hatte, noch pyroëlektrisch fand. Wenn das Pulver auf einer Glastafel erhitzt und umgerührt wurde, so ballte es sich zusammen, wie frisch gefallener Schnee. Da die Menge des Krystallwassers eine wesentliche Verschiedenheit von Mineralien begründet, so konnte das elektrische Pulver nicht mehr als Sko-

---

[1]) Schweigger Journal* 48. 100.

lezit und Mesolith betrachtet werden (im Gegensatze zu dem [1014] Turmalinpulver (§. 1005.)), und die Pyroëlektricität mufs den festen Bestandtheilen jener Krystalle zugeschrieben werden.

Der Axinit ist ein und eingliedrig, und kommt in sehr 1015 ausgezeichneten Krystallen von der in Fig. 194 gezeichneten Form in Dauphiné vor. Von 15 untersuchten Krystallen konnten 2 nicht deutlich elektrisch gemacht werden, darunter ein nach allen Seiten ausgebildeter Krystall. Die übrigen Exemplare wurden, nachdem sie bis 120° R. erhitzt waren, schwach elektrisch; die erregte Elektricität erhielt sich sehr lange. Der Axinit wird leicht durch Reibung elektrisch, und verlangt ein sehr vorsichtiges Anlegen an den Stift des Elektroskops. Es war nöthig, den Krystall während der Prüfung häufig durch die Flamme von Reibungs-Elektricität zu reinigen, wodurch aber auch die angehäufte Pyro-Elektricität entfernt, und der Zeitpunkt der deutlichen Anzeige weiter hinausgeschoben wurde. Dieser Umstand erschwerte die Auffindung der Pole. Es fand sich stets der antiloge Pol auf der kleinen, gewöhnlich dreieckigen, Fläche *n* (Fig. 194.), und ein analoger Pol unterhalb der glänzenden Fläche *s*, an der scharfen Ecke zwischen den Flächen *u*, *x* und der hintern *P*, und ein zweiter analoger Pol an der ihr parallelen oberen Ecke. Die Krystalle waren alle an einer Seite verbrochen, so dafs sich an ihnen kein Exemplar fand, das beide Flächen *n* zeigte; an einigen fand sich die linke obere Fläche *n*, an anderen die rechte untere, und beide waren stets antilog elektrisch, im Allgemeinen die antilogen Pole stärker als die analogen. Nach diesen Versuchen würde der Axinit in zwei Hälften zerfallen, in welchen die elektrischen Axen eine entgegengesetzte Lage einnehmen. Es bedarf dies noch der Bestätigung an anderen Exemplaren des Krystalles.

Der Borazit. Die Borazitkrystalle von Lüneburg sind 1016 gewöhnlich Combinationen des Würfels *a*, Dodekaëders *d*, und eines Tetraëders *o* (Fig. 195.), zu welchen zuweilen auch ein zweites Tetraëder *o'* hinzukommt. Selbst wenn die Flächen des zweiten Tetraëders die des ersten an Gröfse übertreffen, sind die Flächen des ersten durch Glätte und Glanz ausgezeichnet und leicht zu erkennen. Die Krystalle kommen bis

[1016] zu einem halben Zolle Durchmesser vor. Die Borazite von Segeberg sind viel kleiner, kaum von 1 Linie Durchmesser, und ebenfalls Combinationen des Würfels, Dodekaëders und glänzenden Tetraëders, aber mit so vorherrschenden Würfelflächen, dafs oft die Tetraëderflächen nur als glänzende Punkte bemerkbar sind. Der Borazit ist stark pyroëlektrisch, er hat vier elektrische Axen, die durch die Verbindungslinien der glänzenden Tetraëderflächen mit den ihnen diametral gegenüberliegenden Würfelecken (oder matten Tetraëderflächen) gegeben werden. Die vier *antilogen* Pole liegen auf den glänzenden Tetraëderflächen, die vier *analogen* an den Würfelecken (oder matten Tetraëderflächen). Die Krystalle kommen durchsichtig, durchscheinend und ganz undurchsichtig mit erdigem Ansehen vor. Die undurchsichtigen, stark erregbaren Krystalle sind selten homogen, sie erscheinen im Bruche gewöhnlich faserig, so dafs die Fasern winkelrecht auf den Krystallflächen stehen; zuweilen findet sich in einem undurchsichtigen Exemplare ein durchscheinender Kern. Gepulvert giebt der Borazit eine gleiche Erscheinung, wie der Turmalin (§. 1005), die G. Karsten [1]) selbst an dem Pulver des derben Borazits von Stafsfurth bemerkt hat. Dieses Borazitpulver erschien unter dem Mikroskope gänzlich unkrystallinisch, und zeigte dessen ungeachtet, auf einer Metallplatte erwärmt, durch Zusammenballen, dafs es elektrisch geworden war.

1017 Die Borazite sind leicht erregbar und zeigen ihre gesetzmäfsigen Pole bei jeder Art der Prüfung. Dies war aber an den vielen von mir untersuchten Exemplaren nur dann der Fall, wenn die Erhitzung der Krystalle nicht über 120° R. getrieben war. Wendet man eine stärkere Erhitzung an, so erhält man bei scheinbar gleicher Wärmebewegung, einen Wechsel der Pole, auf den Hankel zuerst aufmerksam gemacht hat. Man erhitze einen undurchsichtigen Borazit im Schrotbade bis 190 oder 200° R., hebe ihn schnell aus dem Tiegel, und prüfe ihn am Elektroskope. Eine Minute lang erscheinen dann die analogen Pole positiv, die antilogen negativ elektrisch, danach aber bis zur völligen Erkaltung des

---

[1]) Poggend. Ann.* 71. 243.

Krystalles mit den, den Polen gesetzmäſsig zukommenden, Elektricitäten. Hankel[1]) hat diesen Wechsel der Elektricität der Pole auch bei steigender Temperatur beobachtet. In eine oben durch eine Blechschale geschlossene Büchse, mit seitlich angebrachter verticalen Röhre zur Fortführung der Gase, wurde eine Alkohollampe gesetzt. Die Schale war mit Eisenfeilicht gefüllt, in das ein Borazitkrystall so versenkt war, daſs nur eine Tetraëderfläche, die den antilogen Pol enthielt, frei blieb. Diese Tetraëderfläche wurde durch Bestreichen mit Graphit leitend gemacht, und durch einen Drath mit dem Stifte eines Säulenelektroskops in dauernde Verbindung gesetzt. Ein Thermometer, zur Seite des Krystalles in das Feilicht versenkt, gab den Sinn der Temperaturänderung an. Bei steigender Temperatur bis 204° C. gab der untersuchte Pol die gesetzmäſsige (negative) Elektricität, von da an bis 256° die anomale (positive); bei fallender Temperatur von 238 bis 212° die anomale (negative), von da an die gesetzmäſsige (positive). In einem andern Versuche trat bei Erhitzung des Krystalles bis 300° C. die gesetzmäſsige Elektricität von 283° an auf. [1017]

1018 Es ist nicht ausgemacht worden, ob diese Fälle wirkliche oder nur scheinbare Ausnahmen von der Regel der Pyroëlektricität bilden, nach welcher an demselben Pole eines Krystalles entgegengesetzte Elektricitäten nur bei entgegengesetzten Wärmebewegungen auftreten. Die Gründe dafür, daſs die Erscheinung nur eine scheinbare Ausnahme von der Regel bildet, sind folgende. Die anomale Elektricität wird am Borazite desto leichter erregt, je weniger homogen die Masse des Krystalles ist, an den undurchsichtigen Exemplaren mit rauher Oberfläche leichter als an den mit glatter, und an diesen leichter als an den durchscheinenden Krystallen. Bei verschiedener Structur der Krystallschale und des Krystallkernes findet aber ein Unterschied der Wärmeleitung sowol, als der elektrischen Erregung in beiden Krystalltheilen statt, der jene Erscheinung zur Folge haben muſs. Als der erhitzte Borazit aus dem Tiegel genommen und in freier Luft geprüft wurde (§. 1017.), muſste die Oberfläche des Krystalles schnell erkaltet sein, und es war

[1]) Poggendorff Annalen* 74. 287.

[1018] daher eine kalte Krystallschale, die einen heifsen Kern bedeckte, an das Elektroskop angelegt worden. Das Elektroskop gab die Differenz zweier entgegengesetzten Elektricitäten an, der Elektricität der sich erwärmenden Schale, und der des erkaltenden Kerns. Am Anfange des Versuches, wo die Erwärmung der Schale schneller geschieht, als die Abkühlung des Kerns, überwiegt die Wirkung der Erwärmung, tritt aber bald gegen die der Abkühlung zurück, zumal da diese eine immer gröfser werdende Masse des Krystalles ergreift. Die sich erwärmende Schale des Krystalles kann nur dünn sein, da es einer hohen Temperatur bedarf, damit die in ihr erregte Elektricität merklich werde; ein Borazitkrystall, noch so lange bei einer Temperatur unter 120° R. erhalten, giebt bei der Abkühlung keine andere Elektricität, als die gesetzmäfsige. Wohl aber erscheint er dann bei dem ersten Anlegen an das Elektroskop fast unelektrisch, ganz wie es bei Turmalin, Axinit, Topas nach der stärksten Erhitzung der Fall zu sein pflegt. Dies bekannte Verhalten der letztgenannten Krystalle hat man so gedeutet, dafs die Elektricität sich erst auf dem Krystalle anhäufen müsse, um das Elektroskop zu afficiren. Dafs dies nicht der Hauptgrund sei, erhellt daraus, dafs, wenn man in einer spätern Phase der Abkühlung einen Turmalin durch die Flamme von der angehäuften Elektricität säubert, die elektrische Anzeige zwar geschwächt, aber nie so schwach wird, wie zu Anfange des Versuches, wo doch die Elektricitätserregung, der Geschwindigkeit der Abkühlung wegen, am stärksten sein müfste. Es findet also bei allen Krystallen in dem angeführten Falle ein anfängliches Verstecken der Elektricität des Krystallkernes durch Entgegenwirken der Elektricität der Schale statt, eine Erscheinung, die sich bei dem Borazite zufolge seiner besonderen Massenbeschaffenheit und leichten Erregbarkeit, nach starker Erhitzung zu einer völligen Umkehrung der normalen Elektricitätsart steigern kann.

1019 Der Rhodizit kommt in seiner Form und in seinem elektrischen Verhalten mit dem Borazite überein. Die Krystalle sind Combinationen des Dodekaëders mit dem glänzenden Tetraëder, 1 bis 2 Lin. grofs, und werden deutlich, wenngleich schwächer, als der Borazit, pyroëlektrisch. Die Pole

liegen ebenfalls in den dreiflächigen oder Würfelecken des Do- [1019] dekaëders; die mit den glänzenden Tetraëderflächen abgestumpften Ecken werden *antilog*, die abgestumpften *analog* elektrisch. Der Rhodizit hat also, wie der Borazit, vier elektrische Axen, die mit den Eckenaxen des Würfels zusammenfallen.

Der Prehnit. Die Krystallform des Prehnits ist ein 1020 rhombisches Prisma von nahe 100°, das an den scharfen Seitenkanten abgestumpft (Fig. 196.), und an den Enden durch die gerade Endfläche begrenzt ist. Gewöhnlich ist das Prisma niedrig und tafelartig, wie besonders bei den Krystallen von Bourg d'Oisans im Dauphiné, seltener sind die Flächen des Prisma gröſser und die Krystalle säulenförmig, wie zu Ratschinges in Tyrol. Die kleineren tafelartigen Krystalle sind auf den Flächen des Prisma horizontal gestreift, die gröſseren erscheinen gewöhnlich als eine Zusammenhäufung vieler Krystalle, bei welchen die, den kürzeren Diagonalen der Basis parallelen, Axen oft so stetig divergiren, daſs die stumpfen Seitenkanten einen vollkommenen Bogen beschreiben. Das Aufblättern der Krystalle, wie jenes Verhalten genannt wird, geschieht oft nach beiden Enden der kürzeren Diagonale, so daſs auf der geraden Endfläche des Krystalles eine groſse, der längeren Diagonale entsprechende, Vertiefung sichtbar ist. Die Krystalle von Ratschinges sind glattflächiger, zeigen aber ebenfalls die Anlage zu einem solchen Aufblättern. Die Pyroëlektricität des Prehnits ist dadurch merkwürdig, daſs man an allen Exemplaren die stumpfen Seitenkanten der Tafel in ganzer Ausdehnung antilog elektrisch findet, hingegen die Mitte der Tafel und die Abstumpfung der scharfen Seitenkanten analog elektrisch. Hierdurch wird eine eigenthümliche Lage der elektrischen Axen aufgezeigt, die im Vorhergehenden nicht vorgekommen ist. Bei den bisher aufgeführten Krystallen, die *terminal-polarische* genannt werden, mündete nämlich jede einzelne elektrische Axe an der Oberfläche des Krystalles, und es fand sich daher stets eine gerade Anzahl von Polen vor. Der Prehnit hat dagegen zwei gegen einander gekehrte elektrische Axen, deren analoge Pole zusammenfallen, und erscheint dadurch *dreipolig*. Die kurze Diagonale der Basis giebt die Richtung beider Axen, deren gemeinschaftlicher *analoger* Pol

[1020] in der Mitte liegt, während die beiden zugehörigen *antilogen* Pole in den Enden dieser Linie liegen. Da diese elektrische Anordnung durch die ganze Masse des Krystalles geht, so müssen die scharfen Seitenkanten des Prisma unelektrisch sein; eine Abstumpfung der scharfen Seitenkante trifft immer den analogen Pol, eine Abstumpfung der stumpfen Kante nur dann, wenn sie durch die lange Diagonale der Basis geht. Krystalle, welche diese Art der pyroëlektrischen Anordnung zeigen, heifsen *central-polarische.*

1021 Der Topas, zum 1 und 1 axigen Krystallsysteme gehörig, hat die Form eines rhombischen Prisma mit schwach zugeschärften Seitenkanten, das durch je 4 Flächen eines Rhombenoctaëders zugespitzt ist. Die brasilianischen Topase von dunkel weingelber Farbe sind am stärksten pyroëlektrisch, und werden hier vorzugsweise berücksichtigt. Obgleich die Zuspitzungen eines Krystalles schwach elektrisch waren, so liefs sich doch sogleich ausmachen, dafs die Axe der Säule keine elektrische Axe ist. Normal auf der Säulenaxe steht eine vollkommene Spaltungsfläche; als in dieser der Krystall auseinander gesprengt wurde, erschienen beide Bruchflächen in gleicher Weise pyroëlektrisch, ein Beweis, dafs die elektrischen Axen die Spaltungsfläche nicht schneiden können, sondern ganz in ihr liegen müssen (§. 1006.). — Der Topas ist, wie der Prehnit, central-polarisch; er besitzt zwei elektrische Axen in der Richtung der kurzen Diagonale der Säulenbasis. Die beiden *analogen* Pole fallen in der Mitte der kurzen Diagonale zusammen, die beiden *antilogen* Pole liegen in den stumpfen Seitenkanten der Säule. Ein vollkommen ausgebildeter Topas, eine vierflächige Säule mit vierflächigen Zuspitzungen, würde sich folgendermafsen pyroëlektrisch verhalten. Beide Endigungen würden unelektrisch sein, die antiloge Elektricität würde auf den stumpfen Seitenkanten der Säule nach ihrer ganzen Ausdehnung auftreten, von dort auf den Seitenflächen schnell abnehmen, und gegen die scharfen Seitenkanten hin, wie auf diesen selbst, verschwinden. Analoge Elektricität dürfte auf der ganzen Oberfläche des Krystalles nicht zu finden sein. Von diesem normalen Verhalten weichen die Topase vielfältig ab. Verletzungen an der scharfen Seitenkante werden ein

Hervortreten von analoger Elektricität, Verletzungen an der [1021] stumpfen Seitenkante ein stärkeres Auftreten von antiloger Elektricität an den verletzten Stellen veranlassen. Die Endkanten selbst nehmen Elektricität von den ihnen zunächst liegenden elektrischen Stellen auf, die Endspitze, gewöhnlich abgestumpft, entwickelt selbst schwache analoge Elektricität. Ist eine Bruchfläche da, so entwickelt diese in der langen Diagonale analoge Elektricität, die, wenn auch zuweilen auf der Fläche, wegen zu groſser Nähe der stumpfen Ecken, nicht merklich, doch den elektrischen Zustand der nächsten Kanten verändert. Nimmt man hinzu, daſs die Pyroëlektricität des Topases im Allgemeinen schwach ist, und bei vielen Exemplaren eine Anhäufung der erregten Elektricität nöthig wird, damit diese am Elektroskope merklich werde, so können mannigfache scheinbare Abweichungen von der regelrechten Vertheilung der Pole nicht auffallen. Durch Spalten des Krystalles, oder durch Anschleifen künstlicher Flächen wird man stets auf die wirkliche Polarität des Topases hingewiesen.

1022 Nach der angegebenen Lage der Pole werden zerschnittene Topase sich in folgender Weise verhalten müssen. Eine Ebene, welche einer Seitenkante und der kurzen Diagonale der Basis des Prisma parallel geht, theilt den Topas in zwei dreipolige Stücke (Fig. 197.). Die beiden durch den Schnitt gebildeten Flächen sind analog elektrisch. An dem kleineren Stücke sind die beiden neugebildeten Seitenkanten, an dem gröſseren die stumpfen Seitenkanten antilog elektrisch. Eine Ebene, der langen Diagonale und einer Seitenkante parallel, theilt den Topas in zwei Stücke, von welchen das kleinere zweipolig, das gröſsere dreipolig ist (Fig. 198.). Die beiden durch den Schnitt gebildeten Flächen sind entgegengesetzt elektrisch, die künstliche Fläche ist an dem kleineren Stücke analog, an dem gröſseren antilog. Geht die Theilung des Krystalles durch die lange Diagonale der Basis, so sind beide Stücke zweipolig, beide künstlichen Flächen analog elektrisch (Fig. 199.). Eine beiden Diagonalen parallele Fläche (die vollkommene Spaltungsfläche), theilt den Krystall in 2 Stücke, welche dieselbe Elektricität, wie der ganze Krystall besitzen. Diese Angaben fanden in den folgenden Versuchen ihre Be-

[1022] stätigung. Ein 4flächig zugespitzter Topas, 7 Lin. lang, war an der Zuspitzung und dem entgegengesetzten verbrochenen Ende analog, an den stumpfen Seitenkanten antilog elektrisch. Der Krystall wurde parallel einer Abstumpfungsfläche der stumpfen Seitenkante so stark abgeschliffen, dafs die neu gebildete Fläche durch die Mitte des Krystalles ging, und er ein dreiseitiges Prisma mit einer stumpfen Seitenkante und zwei scharfen Seitenkanten darstellte. Es ist hier überall auf die Zuschärfungen der Seitenkanten keine Rücksicht genommen. Die angeschliffene und polirte Fläche war in ganzer Ausdehnung stark analog elektrisch, die stumpfe Seitenkante antilog, beide scharfen Kanten waren gänzlich unelektrisch. — Ein Topas von 9½ Lin. Länge, der am auskrystallisirten Ende analog, am entgegengesetzten verbrochenen Ende ebenso, an den stumpfen Seitenkanten antilog war, wurde mit einer künstlichen Fläche versehen, welche eine scharfe Seitenkante abstumpfte. An dieser Fläche war, ihrer ganzen Länge nach, schwache aber deutliche analoge Elektricität merklich. Ein Bruchstück desselben Krystalles, 5 Lin. lang, wurde an einer stumpfen Seitenkante durch eine künstliche Fläche abgestumpft. Diese Fläche war in ganzer Ausdehnung stark antilog elektrisch.

1023 An den folgenden Krystallen, die deutlich pyroëlektrisch sind, ist die Lage der Axe noch nicht bestimmt worden.

Titanit. Es wurden 7 Exemplare untersucht nach einer Erhitzung von 120 bis 130° R. Vier Exemplare (ein durchscheinend grünes, ein grünes undurchsichtiges, zwei röthlich braune Krystalle) gaben keine deutlichen und constanten Anzeigen von Pyroëlektricität. Die übrigen drei Exemplare gaben deutliche Anzeige von beiden Elektricitäten, das eine von ihnen, ein grünes durchscheinendes, ziemlich starke Ausschläge. Da aber jeder von diesen elektrischen Krystallen aus zwei durchwachsenen Individuen bestand, so wurde die Lage der Axen nicht untersucht.

Schwerspath. Es wurden 2 Exemplare nach Erwärmung bis 180° R. untersucht. Bei der Abkühlung wurde deutlich positive Elektricität bemerkt, und zwar an dem einen Krystalle am verbrochenen Ende dicht unter der Abstumpfungsfläche der stumpfen Seitenkante. Negative Elektricität ist am

Krystalle nirgend gefunden worden. Es ist wahrscheinlich, [1023] dafs der Schwerspath central-polarisch ist.

Bergkrystall. An fünf, einige Zolle langen, ziemlich dicken Exemplaren ist nach der stärksten Erhitzung keine Elektricität bemerkt worden. Von zwei 6 Lin. langen, 2 Lin. dicken Krystallen blieb der eine unelektrisch, der andere zeigte sich deutlich polarisch. Analoge Elektricität trat auf einer Fläche der 6seitigen Zuspitzung, antiloge auf einer Fläche des 6seitigen Prisma auf. Die Krystalle erfordern grofse Vorsicht bei der Prüfung, weil sie leicht durch Reibung elektrisch werden.

1024 Untersucht, nicht pyroëlektrisch sind die folgenden Krystalle gefunden worden: Amethist, Analcim, Beryll, Brookit, Cölestin, Diamant, Dichroit, Diopsid, Feldspath, Flufsspath, Granat, Helvin, Honigstein, Kalkspath, Natrolith, Phenakit, Pistazit, Rauschgelb, Skapolith, Schwefel, Thompsonit, Vesuvian, Weifsbleierz.

Es ist zu bemerken, dafs diesen negativen Resultaten pyroëlektrischer Versuche nur ein temporärer Werth beigelegt werden darf. Bei den anerkannt pyroëlektrischen Krystallen wird häufig bemerkt, dafs schon bei einer kleinen Anzahl von Exemplaren sich grofse Unterschiede in der Erregbarkeit zeigen, Unterschiede, die auch in Bezug auf die Durchsichtigkeit in hohem Grade stattfinden. Es kann daher geschehen, dafs Krystallarten später pyroëlektrisch gefunden werden, von welchen hier wenige Exemplare gänzlich unelektrisch geblieben sind.

Künstliche pyroëlektrische Krystalle.

1025 Einen passenden Uebergang von den natürlichen zu den künstlichen Krystallen bildet der *Struvit*, ein Krystall von phosphorsaurer Ammoniak-Magnesia, der sich während vieler Jahrhunderte in den Excrementen von Grasfressern gebildet hat, und 1846 in dem Grunde der Nikolai-Kirche in Hamburg in vielen Exemplaren gefunden worden ist. Er ist 1 und 1axig, sein verticales rhombisches Prisma (nahe 84°), an den stumpfen Seitenkanten stark abgestumpft, so dafs es tafelartig

[1025] erscheint, ist an einem Ende durch eine gerade Endfläche, an dem andern durch die Flächen eines Querprisma geschlossen. Der Struvit ist terminal-polarisch, hat Eine elektrische Axe, die durch das verticale Prisma gegeben ist, die gerade Endfläche giebt den *analogen*, die durch das Querprisma gebildete Zuschärfungskante den *antilogen* Pol. Der Krystall ist leicht erregbar, und schon die Wärme der Hand reicht zur Bestimmung seiner Pole aus. Nach Erwärmung im Schrotbade bis 50° R. wird er so stark elektrisch, wie die erregbarsten Exemplare des Topases, verliert aber seine Elektricität sehr schnell.

1026 Brewster hat 14 aus wässerigen Lösungen gebildete Krystalle als pyroëlektrische angegeben, von welchen sich bisher nur 3 durch die Prüfung als solche bewährt haben.

Der Zucker [1]) krystallisirt in einem rhombischen Prisma von 100°, dessen scharfe Seitenkanten durch die Fläche *L* abgestumpft (Fig. 200.) sind, und das durch die schiefen Endflächen *P* und *v* geschlossen wird. An der einen stumpfen Seitenkante treten die unsymmetrischen Flächen *r* und *s* auf (Fig. 201.), die an der diametralen Kante fehlen. Der Zucker ist terminalpolarisch, die elektrische Axe wird durch die kurze Diagonale der Basis des Prisma gegeben; der *analoge* Pol liegt an der unveränderten stumpfen Seitenkante, der *antiloge* an der durch die Flächen *r* und *s* veränderten. Bei zusammengehäuften Krystallen ist stets die unveränderte Kante (der analoge Pol) ausgebildet. Diese merkwürdige Erscheinung, daſs der Eine Pol vorzugsweise leicht auskrystallisirt, ist hier zum viertenmale aufgeführt worden; es ist dieser Pol der *analoge* am Kieselzinkerz und Zucker, der *antiloge* am Skolezit und Mesolith. — Der Zucker ist durch Hygroskopie bei der Lufttemperatur Leiter, bei Erwärmung und kurze Zeit danach Isolator; er wird leicht elektrisch. Die Weinsäure ist in Krystallisation und pyroëlektrischem Verhalten dem Zucker ähnlich, sie wird schon durch die Handwärme elektrisch. Auch einige Salze dieser Säure sind pyroëlektrisch, wie das Seignettesalz (weins. Kali-Natrum) und das neutrale weinsaure Kali.

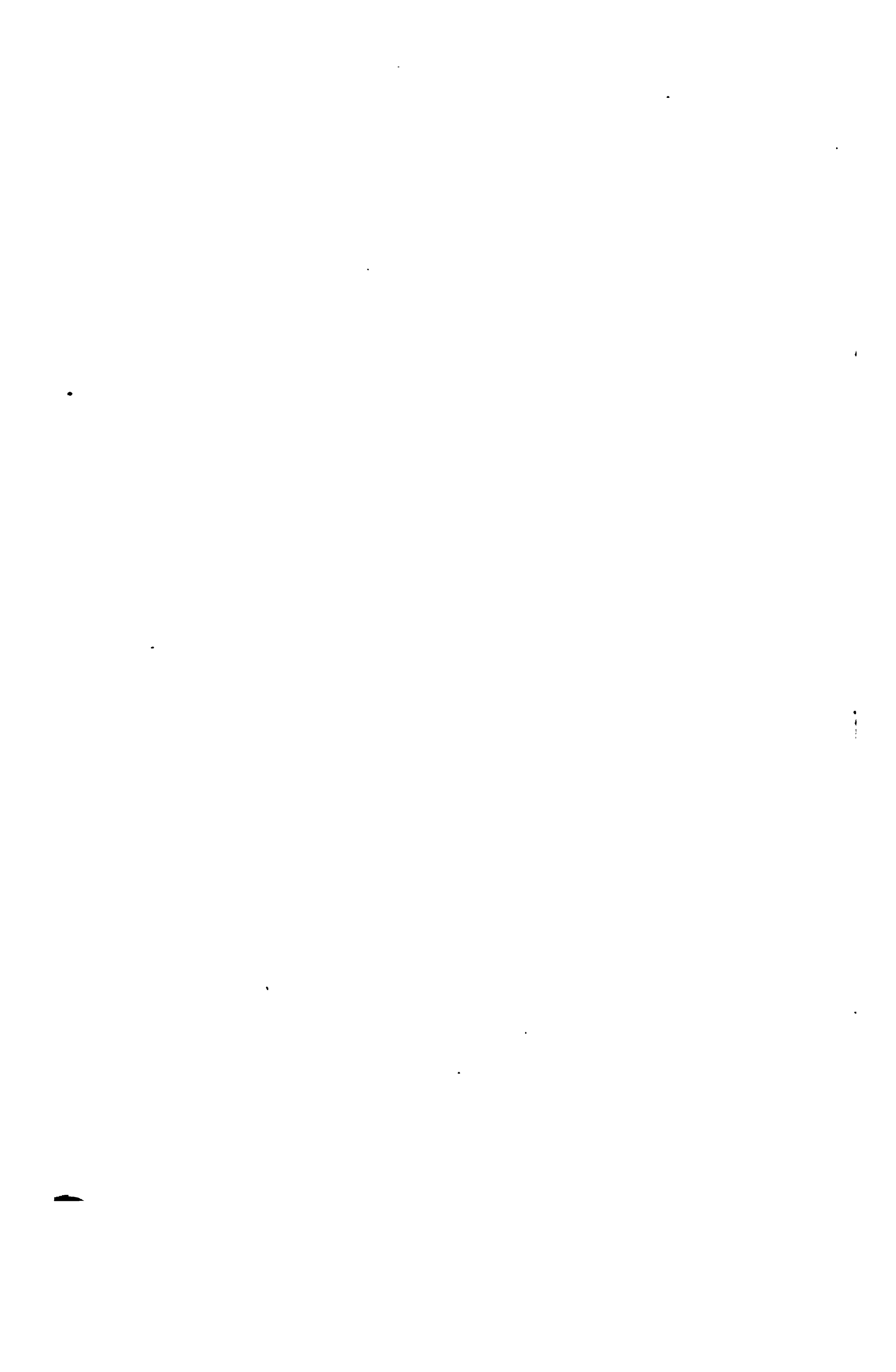
---

[1]) Wolff in Erdmann u. Marchand Journ.* 28. 187.

Die beiden Traubensäuren. Es ist lange Zeit auffallend gewesen, dafs, während die krystallisirte Weinsäure stark pyroëlektrisch ist, die ihr in chemischer Hinsicht gleiche Traubensäure es nicht im geringsten Grade ist. Erst neuerdings hat Pasteur[1]) dies Räthsel gelöst. Die Traubensäure besteht aus zwei sich chemisch gleich verhaltenden Säuren, deren Krystalle eine entgegengesetzt gelegene Unsymmetrie zeigen. Die Krystalle beider Säuren, denen des Zuckers ähnlich, haben ein rhombisches Prisma von 103° als Grundform. Die eine stumpfe Seitenkante ist durch hinzutretende Flächen verändert, die andere nicht. Stellt man einen Krystall der einen Säure so (Fig. 202.), dafs die schiefe Endfläche *P* oben liegt, so liegen die unsymmetrischen Flächen *c rechts* von der glänzenden Abstumpfungsfläche *L* der scharfen Seitenkante. Diese Säure wird *Rechts-Traubensäure* genannt, und ist mit der Weinsäure durchaus identisch. Ein Krystall der andern Säure (Fig. 203.) hingegen zeigt bei derselben Stellung, wie vorhin, die Flächen *c links* von der Fläche *L*, und wird *Links-Traubensäure* genannt. Beide Säuren sind stark pyroëlektrisch, sie haben Eine elektrische Axe in der kurzen Diagonale der Basis des Prisma, und zwar liegt, wie bei dem Zucker, in der unveränderten stumpfen Seitenkante der *analoge*, in der durch die unsymmetrischen Flächen veränderten, der *antiloge* Pol.

1027

[1]) *Annales de chimie* 3ème *sér.** 28. 56.



Sechster Abschnitt.

Die atmosphärische Elektricität.



Erstes Kapitel.

Untersuchungsweise der atmosphärischen Elektricität.

Die Elektricität ist nicht auf unsere Laboratorien beschränkt, ihre Erregung nicht ausschliefslich an einzelne willkürliche oder zufällige Acte gebunden; sie findet sich überall unter freiem Himmel mit sehr wechselnder Dichtigkeit. An welchem Orte, zu welcher Zeit man sich ins Freie begeben mag, ein genügend empfindliches Instrument zeigt sogleich oder nach kurzer Zeit positive oder negative, mehr oder minder dichte Elektricität an. Welch aufserordentlich grofse Dichtigkeit diese Elektricität erlangen kann, lehrt ihre Entladung durch die aus grofser Höhe zur Erde herabfahrenden Blitze. Wäre der elektrische Zustand auch nicht für sich als vorübergehend bekannt, so würde die in so grofsem Maafse wechselnde Dichtigkeit der Elektricität der Luft zeigen, dafs diese Elektricität nicht der Atmosphäre oder dem Erdkörper inhärent sei, sondern in jedem Augenblicke durch irgend welche Processe erregt werde. Der Grund dieser Erregung ist hauptsächlich in drei Umständen gesucht worden: in der stets wechselnden ungleichen Temperatur der in der Atmosphäre über einander gelagerten Luftschichten; in der Verdampfung des, einen grofsen Theil der Erde bedeckenden, Wassers; in der Vegetation der Pflanzen. Welche dieser Ursachen der Erregung die gröfsere Wahrscheinlichkeit für sich hat, bleibt der 1028

[1028] Meteorologie auszumachen, die Elektricitätslehre darf keine von ihnen gelten lassen, weil man die Elektricitätserregung durch ungleich warme Luft niemals geprüft, die durch Verdampfung und Vegetation durch Versuche zu stützen gesucht hat, deren Resultate zweifelhaft geblieben sind.

1029 Daſs bei der ruhigen Verdampfung des Wassers, wie bei der reichlichen in höherer Temperatur, keine Spur von Elektricität an unseren empfindlichsten Instrumenten nachzuweisen ist, habe ich an einer früheren Stelle gezeigt (§. 946.). Ueber die Erregung durch die Vegetation hat Pouillet[1]) folgende Versuche angestellt. Zwölf Glasschalen von 8 bis 10 Zoll Durchmesser wurden auf eine isolirende Platte gestellt, mit Gartenerde gefüllt und mit einander durch Dräthe verbunden, die in dem Inneren der Schalen angebracht waren. Die Erde einer dieser Schalen war durch einen Messingdrath mit der Collectorscheibe eines Condensators verbunden, dessen andere Scheibe, wie gewöhnlich, vollkommen abgeleitet war. Als Samen in die Erde gelegt war und aufkeimte, konnte 10 bis 12 Tage hindurch ein Elektroskop durch die Collectorplatte zur Divergenz mit negativer Elektricität gebracht werden. Dies gelang bei dem Aufsprieſsen von Weizen, Kresse, Levkoye, Luzerne. Aber die elektrischen Zeichen waren nicht constant; zuweilen muſsten mehrere Stunden nach einer Prüfung vergehen, ehe der Condensator auf's Neue geladen wurde, zuweilen geschah dies nach einer Sekunde; statt der negativen kam auch positive Elektricität zum Vorschein. Zur Wiederholung dieser Versuche füllte ich eine isolirte Messingschale, oder häufiger eine Porzellanwanne von 109 Quadratzoll nutzbarer Oberfläche, mit Gartenerde, die feucht gehalten und durch einen Messingdrath mit der messingenen, 6 Zoll breiten, Collectorplatte eines Condensators verbunden war. Die abgehobene Collector- oder Condensator-Platte wurde an einem Säulenelektroskope geprüft. Vom März bis August eines Jahres lieſs ich elfmal Gartenkresse (lepidium sativum) in der Erde keimen, und untersuchte den Condensator täglich einigemale, bis die Kresse die Höhe von 2 Zoll erreicht

[1]) *Annales de chim. et de phys.* 35. 401. Poggend. Annal.* 11. 431.

hatte. Häufig fanden sich Spuren von Elektricität im Condensator, aber von wechselndem Zeichen, und Versuche an nicht besäeter Erde, die gleiche Resultate gaben, lehrten, daſs jene Anzeigen nicht von der Vegetation herrührten. [1029]

1030 Ist die Ursache der Erregung der atmosphärischen Elektricität zweifelhaft, so ist es nicht minder die Anordnung dieser Elektricität im Luftraume. Man hat jedes Theilchen der Atmosphäre so elektrisirt angenommen, daſs die horizontal über einander gelagerten Luftschichten Elektricität von desto gröſserer Dichtigkeit besitzen, je weiter sie von der Erde entfernt sind [1]). Ein Prüfungsinstrument soll Elektricität durch Mittheilung empfangen von der Luftschicht, in welcher sich die Spitze seines Zuleitungsdrathes befindet, und zugleich den Einfluſs der über ihm ruhenden elektrischen Schichten erfahren. Andrerseits hat man die unteren Luftschichten als unelektrisch, und erst in einiger Höhe über dem Boden eine elektrisirte Luft- oder Dampfschicht angenommen. Die letztere Vorstellung ist bei Weitem die klarere und nützlichere. Sie ist augenscheinlich richtig bei dem extremen Elektricitätszustande der Luft während eines Gewitters, wo gegen die Elektricität der Wolke die der darunter liegenden Luftschichten nicht in Betracht kommen kann, sie läſst sich ungezwungen festhalten bei dem nicht gewitterhaften bedeckten Himmel, und es hindert Nichts, sie auf den heiteren Himmel auszudehnen, da Luft und Wasserdampf sich erfahrungsgemäſs elektrisiren lassen, ohne ihre Durchsichtigkeit einzubüſsen. Der Vorzug dieser Vorstellung besteht darin, daſs damit die Anzeigen der Instrumente einfach auf Influenz zurückgeführt werden, und eine Uebersicht über die sehr wandelbaren Erscheinungen gewonnen wird. Nur wenn das Prüfungsinstrument in die Wolke selbst gebracht wird, oder diese sichtlich zu dem Instrumente herabsteigt, wie bei Nebel und den atmosphärischen Niederschlägen, tritt, wie von selbst klar ist, eine Elektrisirung durch Mittheilung ein, ohne daſs jedoch die Wirkung der Influenz ausgeschlossen wird. Ich werde in diesem Kapitel die Untersuchungsweise der Luftelektricität

---

[1]) *Biot traité de phys.** 2. 458.

[1030] beschreiben, oder, wie es besser heifsen sollte, die Art, wie Versuche mit dieser Elektricität anzustellen sind. In den folgenden Kapiteln werde ich Beobachtungen der Luftelektricität zu verschiedenen Zeiten und bei besonderen Witterungserscheinungen anführen, sie aber in der beschränkten Ausdehnung halten, die ihnen ihre Stellung in der Elektricitätslehre anweist. Vollständigere Reihen solcher Beobachtungen sind in den Lehrbüchern der Meteorologie und in den Monographieen der elektrischen Naturerscheinungen zu suchen. Eine historische Zusammenstellung der Beobachtungen ist von Kämtz [1]) und später von Duprez [2]) gegeben worden.

Untersuchung der Luftelektricität an feststehenden Apparaten.

1031 Der einfache Apparat, den Franklin [3]) 1749 in Vorschlag brachte, um die elektrische Natur des Gewitters aufzuzeigen, dient seitdem zur Untersuchung der atmosphärischen Elektricität. Eine oben zugespitzte Metallstange wird vertical isolirt auf freiem Felde oder der First eines Hauses aufgerichtet, und ihr unteres Ende mit den gebräuchlichen Instrumenten auf Elektricität untersucht. Eine solche (Franklin'sche) Stange auf kurze Zeit isolirt aufzustellen und ihre Elektricität nachzuweisen, ist nicht schwer. Der Beifall, den Ludwig der funfzehnte von Frankreich einigen, von Franklin angegebenen, elektrischen Versuchen schenkte, bewog einen Herrn d'Alibard [4]), im Frühlinge des Jahres 1752, Franklin's Vorschlag in Marly bei Paris in Ausführung zu bringen. Eine scharf zugespitzte, 40 Fufs lange Eisenstange war am stumpfen Ende zweimal im spitzen Winkel umgebogen, so dafs dies Ende zwar dem andern Ende parallel, aber nicht in der Verlängerung desselben lag. Die Stange wurde vertical, mit der Spitze nach oben, an 3 in ein Dreieck gestellte Pfähle mit Seidenschnüren festgebunden, und das untere Ende durch

---

[1]) Lehrbuch d. Meteorologie* 2. 389. [2]) *Mém. couronnés p. l'acad. de Bruxelles** 16. 1. [3]) *Experim. and observat.* 5th. ed.* 65. [4]) *Experim. and observ.** 108.

einen auf Glasfüße gestellten Tisch gestützt, über den ein Wetterdach aufgeschlagen war. Am 10. Mai 1752 wurde ein Donnerschlag in Marly gehört. Ein zur Beaufsichtigung des Apparates angestellter Dragoner, Coiffier, erhält, indem er sich mit einem Drathe dem unteren Theile der Eisenstange nähert, einige Funken, schickt zum Prior von Marly, Raulet, der einige Minuten lang aus der Stange Funken zieht und die Erscheinung in einem Briefe an d'Alibard mittheilt. Dies ist der erste Versuch, der mit der atmosphärischen Elektricität angestellt worden ist, und sogleich an verschiedenen Orten mit gleichem Erfolge wiederholt wurde [1]). [1031]

1032 Bei drohendem Gewitter genügen sehr einfache Vorrichtungen zu dem Versuche. Canton befestigte eine 4 Fuſs lange Zinnröhre auf der convexen Seite einer zinnernen Schüssel, und diese auf einer 18 Zoll langen Glasröhre, die in einen Holzblock gesteckt war. Das freie Ende der Zinnröhre war mit 3 Metallspitzen versehen. Als dieser Apparat auf dem Dache eines Hauses aufgestellt war, konnten bei einem Gewitter Funken von ½ Zoll Länge aus der Schüssel gezogen werden. Le Monnier setzte auf einen 32 Fuſs hohen Pfahl, der auf einem freien Platze aufgerichtet war, eine Glasröhre, und auf diese eine Zinnröhre, die einen 6 Fuſs hohen zugespitzten Eisenstab trug. Von der Eisenstange aus wurde nach einem Hause ein 300 Fuſs langer Drath geleitet, an dessen Ende bei einem Gewitter Funken und Schläge erhalten, Alkohol entzündet werden konnte. So starke Wirkungen traten nur bei Gewittern oder bedecktem Himmel ein, geringere elektrische Zeichen aber zu jeder Zeit. So bemerkte Le Monnier zuerst die atmosphärische Elektricität bei unbewölktem Himmel [2]); während eines 6 Wochen anhaltenden heiteren Wetters erhielt er an dem Ende seines Apparates Anziehung von Staub, zuweilen auch kleine Funken. Eine gute Leitung, die von einem hohen Punkte aus bis zu einem Beobachter geführt ist und dicht bei ihm aufhört, bringt die Gefahr, daſs der Blitz, wenn er die Leitung trifft, auf den Beobach-

[1]) *Philos. transact.* 1752. — *abridg.** 10. 290 fl.
[2]) *Mém. de l'acad. Paris* 1752 — *éd. in*-12* 356.

[1032] ter übergeht. Dieser Fall trat am 6. August 1753 ein, indem Richman in Petersburg bei Untersüchung der Luftelektricität erschlagen wurde [1]). Noch vor diesem Ereignisse hatte Franklin durch eine zu anderen Zwecken angebrachte Einrichtung die Gefahr beseitigt, durch Anbringung eines elektrischen Glockenspieles an dem Ende seiner Auffangstange [2]). Dies, seitdem angewandte, Glockenspiel besteht aus einer Metallglocke, die an dem Ende der isolirten Leitung befestigt ist, einer zweiten nahe dabei angebrachten Glocke, die vollkommen zur Erde abgeleitet ist, und einem zwischen beiden an einem Seidenfaden hangenden Metallklöpfel. Bei einiger Stärke der Luftelektricität kommt der Klöpfel in Bewegung, läutet die Glocken und ruft den Beobachter herbei. Ein Blitz, der auf den Apparat fallen sollte, würde den kleinen Zwischenraum zwischen den Glocken leicht überspringen und, ohne den Beobachter zu treffen, zur Erde geleitet werden.

1033 Die vertical aufgerichtete Franklin'sche Stange ist zur Untersuchung der Luftelektricität nicht unumgänglich nöthig, die auch an langen horizontal ausgespannten Metalldräthen merklich wird. Le Monnier zog einen 1800 Fufs langen Drath zwischen dem Fenster seines Hauses und einem Fenster des Schlosses zu St. Germain viermal hin und her, und isolirte den Drath, indem er ihn mit Seidenschnüren im Inneren der Zimmer fest band. Dieser Drath wurde fast immer elektrisch gefunden. Beccaria [3]) legte einen 1500 Fufs langen Drath auf Holzpfählen quer über den Po, und fand an ihm eben so starke Elektricität, wie an einer gleichzeitig aufgerichteten verticalen Stange. Weekes [4]) spannte zwischen zwei Kirchthürmen von Sandwich, einer kleinen Stadt in Kentshire, einen 1027 Fufs langen Drath, und führte ihn isolirt in sein Zimmer hinab. Als eine Wolke über dem Drathe regnete, erhielt er während 3 Stunden einen fortwährenden Funkenstrom, der mit starkem Geräusche in einer Lücke des Drathes überging, und konnte mit der aufgefangenen Elektricität mechanische Effecte ausführen, wie Durchbohrung von

---

[1]) *Philos. transact.* 1755. — *abridg.** 10. 574. [2]) *Experim. and observ.** 120. [3]) *Priestley hist. of electr.** 367. [4]) *Sturgeon annals of electr.** 6. 89.

Karten und Glas. Die langen Dräthe brauchen nicht hoch [1033] über dem Boden zu liegen. An den überirdischen Telegraphenleitungen sammelt sich die atmosphärische Elektricität nicht selten zu einer den Apparaten und Menschen gefährlichen Stärke. So erhielten Arbeiter, welche Telegraphendräthe einziehen sollten, empfindliche Erschütterungen, einer von ihnen einen gefährlichen Schlag [1]).

1034 Feststehende Apparate, an welchen nicht nur starke Ansammlungen der Luftelektricität merklich, sondern längere Zeit hindurch vergleichbare Beobachtungen angestellt werden sollen, bedürfen einer guten, stets gleichen Isolation, die nicht leicht zu erhalten ist, da die isolirenden Stützen des Apparates dem Wechsel der Temperatur und der Feuchtigkeit der Luft ausgesetzt sind. Read [2]) befestigte eine 20 Fufs lange Stange aus Tannenholz an der Aufsenseite eines Hauses, indem er eine Stange durch eine in der Wand festgemachte Glasröhre schob, und durch einen soliden Glasstab stützte, beide Glastheile aber durch umgekehrte Trichter vor dem Regen schützte. An der Spitze der Stange war ein Metalldrath befestigt, der hinab in ein Zimmer geführt und dort untersucht wurde. Die täglich daran angestellten Beobachtungen wurden zwei Jahre lang fortgesetzt. Gersdorf [3]) führte eine 24 Fufs lange Eisenstange durch eine, in dem Dache eines Sommerhauses befestigte, Glasröhre, liefs sie im Zimmer in einer Glasschüssel ruhen und schützte die Glasröhre im Dache durch einen aufgesetzten Kupferhut. Der vollkommenste Apparat dieser Art ist in Kew bei London 1843 errichtet und seitdem benutzt worden [4]). Er ist in dem obersten Zimmer eines freistehenden Gebäudes unter der hölzernen mit Blei gedeckten Kuppel angebracht. In der Mitte der Kuppel befindet sich eine weite Oeffnung, in die ein hohler Cylinder *aa* aus polirtem Mahagoniholze gesteckt ist (Fig. 204.). Unter der Oeffnung steht auf einem festen Gestelle die hohle Glassäule *A*, deren Bohrung nach unten erweitert ist; sie trägt die mit ihr durch eine hohe Metallfas-

[1]) Poggend. Annal.* 76. 187. [2]) *Philosoph. transact.* 1791.— *abridg.** 17. 52. [3]) Beobachtungen d. atmosphär. El. Görlitz 1802.* 84. [4]) *Report of th. british associat. f. advancem. of science for* 1844.* 121.

[1034] sung verbundene Messingröhre *EE*, in die eine 16 Fuſs lange conische Röhre *DD* aus dünnerem Kupferbleche eingesteckt ist. An dieser Röhre ist der kupferne Schirm *E* befestigt, der über den Mahagonicylinder übergreift, ohne diesem näher als 3 Zoll zu kommen. An die höchste Spitze der Röhre *D* sind drei feine Platinspitzen gelöthet; gewöhnlich befindet sich aber daselbst die Blechlaterne *L*, die an zwei, die Röhre umfassenden, Ringen befestigt ist, und mittels einer Schnur, die über eine Rolle in das Innere der Röhre geführt ist, durch Umdrehung der Kurbel *M* an die Spitze *D* gehoben werden kann. Die Untersuchung der angesammelten Elektricität geschieht an dem horizontalen Messingarme *NN*, der, zur Sicherheit des Beobachters, durch die Lücke *r* von einer zur Erde geführten guten Leitung getrennt ist. Obgleich die Glassäule gegen Regen vollkommen geschützt ist, so würde sie doch nicht immer gut isoliren, weil die Feuchtigkeit der Luft durch die nicht ganz geschlossene Oeffnung der Kuppel in das Zimmer dringt. Man erhält deshalb die Glassäule stets warm, indem man unter dem hohlen oben geschlossenen Kupfercylinder *G*, dessen Ende in die erweiterte Oeffnung der Glassäule tritt, eine kleine Lampe brennen läſst. — Mit gleicher Sorgfalt in Hinsicht auf die Isolirung ist der elektrische Apparat in Greenwich eingerichtet [1]). Eine groſse Laterne ist auf einem hohlen Glascylinder isolirt, der durch eine untergestellte Lampe stets warm erhalten wird. Diese Laterne auf ihrem Gestelle wird auf einen im Freien aufgerichteten Mastbaum aufgehiſst, und durch einen Drath mit einem im Observatorium befindlichen, und durch warm erhaltenes Glas isolirten Metallcylinder in Verbindung gesetzt, an den die Prüfungsinstrumente angelegt werden.

1035 Zur Untersuchung der Elektricität an der Franklin'schen Stange werden die in der Einleitung (§. 48.) beschriebenen Elektroskope benutzt. Man bedarf solcher von verschiedener Empfindlichkeit. Gewöhnlich sind Volta's Strohhalmelektroskope und das Quadrantelektroskop benutzt worden, die man, so gut es gehen wollte, mit einander vergleichbar

---

[1]) *Airy astron. observ. Greenwich* 1847* *p. LXXVII.*

gemacht hatte. Sehr schwache Elektricität wird an dem Gold- [1035] blattelektroskope untersucht, sehr starke an einem Funkenmesser, an dem man die beiden Kugeln, der schnelleren Beweglichkeit wegen, statt durch eine Schraube, direct mit der Hand oder durch einen Winkelhebel einander nähert, bis der Funke überspringt. Nach Colladon's Vorgang[1]) ist auch der Multiplicator (§. 507.) als Prüfungsinstrument gebraucht worden. Das eine Ende des Multiplicatordrathes wird mit dem unteren Ende der Franklin'schen Stange, das andere mit einer guten Ableitung zur Erde verbunden. Die Ablenkung der Magnetnadel giebt durch ihre Gröſse die Dichtigkeit der atmosphärischen Elektricität, durch ihre Richtung die Art derselben an, indem diese Richtung bestimmt wird durch die Stelle des Eintrittes der positiven Elektricität in den Drath. Das Instrument ist indeſs nicht zu Beobachtungen geeignet, die längere Zeit hindurch mit einander verglichen werden sollen. Der Magnetismus der Nadeln unterliegt, durch die oft plötzlich eintretenden Aenderungen der Luftelektricität, bedeutenden Schwankungen, so daſs gleiche Ablenkungen nicht immer einen gleichen Zustand der Luftelektricität anzeigen. Ein eigenthümliches Instrument zur Aufzeichnung der Luftelektricität während der Abwesenheit des Beobachters ist von Lichtenberg[2]) angegeben, neuerdings in Kew ausgeführt und benutzt worden. Eine Zinnscheibe, mit einer dünnen Lage von Schellack überzogen, wird durch ein Uhrwerk um eine verticale Axe bewegt. Die Endkugel eines, von einer Franklin'schen Stange ausgehenden, in einem Gelenke leicht beweglichen, Armes ruht mit leichtem Drucke auf der Schellackfläche und theilt dieser successiv an verschiedenen Stellen Elektricität mit. Wird die Fläche darauf mit Mennige und Schwefel bestreut, so zeigen die gebildeten Staubfiguren durch ihre Form und Färbung die Art, durch ihre Ausdehnung die Stärke der Elektricität an, die auf die Scheibe zu bestimmten, nach der Geschwindigkeit der Umdrehung berechneten, Zeitpunkten gewirkt hat. Bei diesem Versuche

---

[1]) *Annales de chim. et de phys.* 33. 62. Poggend. Annal.* 8. 349.

[2]) *Commentat. Soc. Gotting.* 1. 2. *De nova methodo natur. fluid. et investig. comm. post. Gotting.* 1779.* 11.

[1035] darf keine zu starke Elektricität wirken, daher die Lücke zwischen dem Ende der isolirten Stange und der Ableitung (r in Fig. 204.) nur wenige Linien messen darf.

1036 Um nach den elektrischen Erscheinungen an der Franklin'schen Stange den elektrischen Zustand der Atmosphäre zu beurtheilen, hat man sich der Erfahrung zu erinnern, die an einem, unter einem elektrisirten Körper stehenden, Elektroskope gemacht worden ist (§. 249.). Das Elektroskop divergirte mit derselben Elektricitätsart, die der darüber stehende elektrisirte Körper besafs; aber nur vorübergehend, wenn der Zuleiter des Instrumentes stumpf, bleibend und im stärkern Maafse, wenn jener zugespitzt war. Es stehe über der zugespitzten Franklin'schen Stange eine positiv elektrische Wolke; das obere Ende der Stange wird durch Influenz negativ, das andere positiv elektrisch werden, und die Untersuchung des unteren Endes die Art und Dichtigkeit der Elektricität der Wolke erkennen lassen. Ist diese Dichtigkeit so grofs, oder die Spitze des Apparates so vollkommen, dafs die ganze erregte negative Elektricität durch Ausströmung entfernt wird, so ist es gleichgültig, in welchem Zeitpunkte nach der ersten Einwirkung der Wolke die Untersuchung stattfindet; in jedem Augenblicke hat man einen unelektrischen Leiter vor sich, der durch Influenz beide Elektricitätsarten in gleicher Menge erhält. Nicht so, wenn jene Bedingung nicht erfüllt ist, und die erregte negative Elektricität ganz oder zum Theil auf dem oberen Ende der Stange zurückbleibt. Dann wird die positive Elektricität des unteren Endes, wenn sie durch Zerstreuung in die Luft oder durch eine vorangehende Untersuchung geschwächt ist, durch die Influenz nicht in ganzer Stärke wiederhergestellt, sondern nach Abzug des Theiles, welcher der in der Stange zurückgebliebenen negativen Elektricität entspricht. Denken wir uns als extremen Fall, bei Endigung der Stange mit einer Kugel, alle erregte negative Elektricität darin zurückgehalten, so wird nach einiger Zeit die positive Elektricität des unteren Endes sich in die Luft zerstreut haben, und dies Ende unelektrisch erscheinen, obgleich die Luftelektricität noch

eben so stark ist, als früher. Beccaria[1]) fand an einem [1036] langen horizontal ausgespannten Drathe, daſs zuweilen, wenn er ihn ableitend berührt hatte, eine Minute verging, ehe ein daran angelegtes Elektroskop wieder Zeichen von Elektricität gab. Auch die an dem Leiter angebrachte Spitze vermag nicht zu hindern, daſs häufig das Resultat einer elektrischen Prüfung von der Zeit abhängig ist, die seit einer vorangehenden Prüfung verflossen ist. Franklin[2]), dem man gewiſs alle Sorgfalt bei der Wahl der Spitze an seiner isolirten Stange zugestehen darf, konnte bei schwacher Luftelektricität nur Einen Funken aus dem Ende der Stange erhalten, und erst lange Zeit danach einen zweiten. Nicht allein, daſs die Franklin'sche Stange häufig die Stärke der Luftelektricität falsch beurtheilen läſst, so kann sie selbst über die Art dieser Elektricität einen unrichtigen Schluſs veranlassen. Man denke sich den oberen Theil der Stange negativ elektrisch, den unteren Theil unelektrisch, durch Zerstreuung der daselbst vorhandenen positiven Elektricität. Es nehme nun die Luftelektricität ab, die elektrische Wolke entferne sich von dem Apparate, so daſs, wenn die isolirte Stange noch nicht elektrisirt worden wäre, die Menge der durch Influenz erregten negativen Elektricität kleiner wäre, als die in ihr von der früheren Elektrisirung zurückgebliebene Menge, so wird der Ueberschuſs dieser Elektricität sich über die Stange verbreiten, und der Beobachter am unteren Ende der Stange sein Elektroskop negativ elektrisch erhalten. Er wird also die Luftelektricität negativ elektrisch glauben, obgleich nur eine Schwächung der positiven Elektricität eingetreten ist. In den von Read ein Jahr lang fortgesetzten Beobachtungen findet sich eine unverhältniſsmäſsig groſse Anzahl mit negativem Zeichen (156 unter 397), die zum Theil in der angegebenen Weise zu Stande gekommen sein mögen.

Die Untauglichkeit der Franklin'schen Stange zur Beobachtung einer schwachen Luftelektricität rührt, nach dem 1037

---

[1]) Gilbert Annalen* 51. 51.

[2]) *Experim. and observat.** 120.

[1037] Vorhergehenden, allein von der unvollkommenen Beschaffenheit der Spitze her, und wird gehoben, wenn an die Stelle derselben ein brennender Körper gesetzt wird, da die Flamme die Eigenschaften der Spitze, aber in unvergleichlich höherem Grade besitzt (§. 267.). Bennet[1]) hat zuerst die Untersuchung der Luftelektricität in dieser Weise verbessert, indem er dazu eine angezündete Wachsfackel oder ein, in einer Laterne brennendes, Wachslicht gebrauchte. Ein feststehender Apparat zur Luftelektricität wurde dadurch hergestellt, daſs eine isolirte Laterne auf einem 15 Fuſs hohen, im Freien aufgerichteten, Pfahle befestigt, und durch einen Golddrath mit einem Elektroskope verbunden war. Auf die Erfindung dieser wichtigen Verbesserung der Franklin'schen Stange hat auch Volta Anspruch gemacht, dem indeſs in keiner Weise die Priorität zugestanden werden kann. Bennet hatte schon in einer vom 14. September datirten, am 7. December 1786 in der royal society gelesenen Abhandlung[2]) angegeben, daſs die Empfindlichkeit des Goldblattelektroskops in hohem Grade gesteigert werde durch ein, auf dem Zuleiter des Instruments angebrachtes, brennendes Licht. In einer am 10. Mai 1787 gelesenen Abhandlung giebt er die Anwendung dieses Mittels zur Untersuchung und eine Reihe von Beobachtungen der Luftelektricität, die am 23. Januar beginnen. Die erste Nachricht, die Volta von jener wichtigen Anwendung der Flamme gegeben hat, findet sich, nach seiner eigenen Angabe[3]), in einem im Juli 1787 an Lichtenberg geschriebenen Briefe. Sichere Beobachtungen der Luftelektricität erhält man an der Franklin'schen Stange nur bei Anwendung der Flamme, die während eines Gewitters oder zu Zeiten entfernt wird, in welchen aus der Stange Funken gezogen werden können. In dem §. 1035 beschriebenen, zu fortwährenden Beobachtungen benutzten, Apparate zu Kew ist an der Spitze der Auffangstange eine Laterne angebracht, in welcher Tag und Nacht eine Lampe brennend erhalten wird[4]).

1038 Es könnte aufgefallen sein, daſs Le Monnier von seinem

---

[1]) *Philosoph. transact.* 1787.* 288. [2]) *Philos. transact.* 1787.* 26. [3]) *Meteorol. elettr. lett.* 4. *Collez. dell' opere** I_2. 146. [4]) *Report of brit. assoc. f.* 1843* *p. XXXIX.*

[1038] Apparate zuweilen Funken ziehen konnte (§. 1032.) bei völlig heiterem Himmel, als die Luftelektricität nur eine geringe Dichtigkeit besaſs. Dies hat Coulomb [1]) folgenderweise erklärt. Man nehme an, die elektrisirte Luftschicht bilde eine Kugel von 1000 Fuſs Radius und stehe 500 Fuſs über der Spitze der 1 Zoll dicken Franklin'schen Stange. Nach den Versuchen, in welchen ein Cylinder einer elektrisirten Kugel genähert wurde (§. 176.) ist die Dichtigkeit d an dem zugewandten Ende des Cylinders $d = -\frac{2{,}07\,DR^2}{r(R+a)^2}$, wo D die elektrische Dichtigkeit, R den Halbmesser der Kugel, r den Halbmesser des Cylinders und a den Raum zwischen Kugel und Cylinder bezeichnet und die Maaſse in Zollen auszudrücken sind. Diese, an einem nicht isolirten Cylinder gefundene, Formel kann für die isolirte Franklin'sche Stange gebraucht werden, weil in dem ersten Augenblicke des übergehenden Funkens die Isolation der kleinen Luftschicht aufgehoben ist, die zwischen dem unteren Ende der Stange und dem funkenziehenden Körper liegt (§. 636.). Es ist für den vorliegenden Fall $R = 12000$ $r = 0{,}5$ $a = 6000$ und also $d = -247\,D$. Wenn die elektrische Luftschicht die mittlere Dichtigkeit 1 besitzt, so erhält der obere Theil der Franklin'schen Stange durch Influenz negative Elektricität von der Dichtigkeit 247; eine dieser Dichtigkeit entsprechende Menge positiver Elektricität wird in den untern Theil der Stange treten und in Funken übergehen können, wenn auch die mittlere Dichtigkeit der Luftelektricität nur gering ist.

Untersuchung der Luftelektricität an tragbaren Apparaten.

Untersuchung an ruhenden Apparaten.

[1039] Die bedeutende Höhe der Franklin'schen Stange ist nicht nöthig, wenn es nicht darauf ankommt, möglichst starke Anzeigen der Luftelektricität zu erhalten, und der Apparat

---

[1]) *Mém. de l'acad. Paris* 1788.* 690.

[1039] erhält dann den Vortheil, tragbar zu sein. Man begiebt sich mit einem wenige Fuſs hohen Metallstabe, der aus mehreren zusammengeschraubten Stücken bestehen kann, in's Freie, hebt das, gewöhnlich mit einem brennenden Körper, zuweilen mit einer Spitze versehene, Ende des Stabes in die Höhe und untersucht das untere Ende an einem Condensator oder einem einfachen Elektroskope. Bennet erhob eine auf einen Glasstab gestellte Laterne über seinen Kopf, berührte den Boden der Laterne mit einer leydener Flasche, und untersuchte die Ladung, welche diese erhalten hatte. Während eines Regens wurde die Flasche an den oberen Theil des Stieles eines Regenschirmes angelegt, dessen unterer gläserner Theil in der Hand gehalten wurde. Volta [1]) brachte einen hochstehenden brennenden Körper mit einem Elektroskope in Verbindung. Auf einem Spazierstocke wurde ein kurzer Glasstab befestigt und auf diesem ein, aus mehreren Stücken zusammengesetzter, einige Fuſse langer Stahlstab, der durch eine mit Silberdrath durchflochtene Schnur mit einem Elektroskope verbunden war. Auf die Spitze des Stahlstabes war ein angezündeter mit Schwefel eingeriebener Baumwollendocht gesteckt. Während der Beobachter den Stock mit der einen Hand in die Höhe hält, beobachtet er das in der andern Hand gehaltene Elektroskop. Zur Beobachtung im Zimmer wurde eine lange schräg gestellte Holzstange am Fenster befestigt und eine brennende isolirte Laterne darauf gestellt, von der ein Eisendrath zu einem feststehenden Elektroskope führte. Gersdorf [2]) versah ein Weis'sches Elektroskop (§. 53.) mit einer langen Messingspitze, auf die ein Stück brennenden Feuerschwammes gesteckt war, und hielt das Elektroskop über seinen Kopf. Schübler [3]) benutzte eine leydener Flasche von 10 bis 12 Quadratzoll Belegung, und setzte auf den Knopf derselben einen 3 Fuſs langen spiralförmigen Drath, auf dessen Spitze ein abgemessener Schwefelfaden abbrannte. Nach einer bestimmten Zeit wurde der Drath entfernt, und die Ladung der Flasche an einem Strohhalmelektroskope untersucht.

---

[1]) *Collezione dell' opere** I_2, 128. Meteorologische Briefe* 120. [2]) Atmosphärische Elektric.* 86. [3]) Grundsätze d. Meteorologie. Leipz. 1831.* 82.

Fig. 205 zeigt ein atmosphärisches Elektroskop, das, zum Gebrauche geöffnet, auf einen in den Boden gesteckten Spazierstock geschraubt ist. Es besteht aus dem Kugelelektroskope *A* und dem mit Schellack überzogenen Glasstabe *B*, die auf einer Holzplatte befestigt sind. Die Glaskugel hat einen Durchmesser von 1 Zoll 4½ Linie; der 2 Zoll lange, 3 Linien dicke Glasstab trägt einen Metallzapfen, um den der Ring *a* drehbar ist. Von dem Ringe geht auf der einen Seite der Winkelarm *b* aus, dessen herabgehender Theil aus Glas besteht, auf der anderen Seite ein gebogener Messingarm, der mit der sphärisch ausgeschliffenen Kugel *c* die Kugel des Elektroskops berührt. In die Schraubenmutter *d* wird ein verticaler Drath eingeschraubt, der aus 2 Stücken besteht, jedes von 1½ Fuſs Länge, die in der Höhlung des Stockes aufbewahrt werden. Die herabgeklappten Seitentheile des Apparates enthalten, auſser einem Bernsteinstücke zur Prüfung der Elektricität und zwei Verbindungsschrauben, die Stücke, welche an das obere Ende des verticalen Drathes angesetzt werden können: eine feine Stahlspitze und die in Fig. 206 abgebildete Büchse. Diese Büchse, 1 Zoll hoch, 9 Linien weit, ist der Länge nach aufgeschnitten, um einen in ihr befindlichen Teller bewegen, und mit der Schraube *a* feststellen zu können. Auf den Teller paſst die kleine Weingeistlampe *b*, die gefüllt 16 Minuten lang brennt; bei stürmischem Wetter wird, statt der Lampe, eine glimmende Räucherkerze auf den Teller gestellt. Zur Prüfung der Luftelektricität bringt man die von dem Elektroskope entfernte Kugel *c* (Fig. 205.) mittels des Armes *b*, eine oder mehr Sekunden lang, mit dem Elektroskope in Berührung und entfernt sie dann wieder. Die über das Instrument, nach Abschraubung des verticalen Drathes, aufgeschlagenen Seitentheile bilden einen Kasten, dessen längste Dimension 4 Zoll miſst und der daher leicht zu transportiren ist. **1040**

Der Drache. Dies bekannte Spielzeug giebt das Mittel, die atmosphärische Elektricität in gröſster Stärke zu sammeln. Der Versuch ist von Franklin angegeben und ausgeführt worden; der Zeitpunkt, an dem er ihm zuerst geglückt ist, findet sich in seinem vom 19. October 1752 datirten **1041**

[1041] Briefe [1]) nicht angegeben. Priestley theilt, augenscheinlich nach Franklin's mündlicher Erzählung, die Einzelnheiten dieses interessanten Versuches mit [2]). Franklin hatte zur Ausführung des Vorschlages, den er zur Bestätigung der elektrischen Natur des Blitzes gethan hatte (§. 1031.), auf die Errichtung eines Thurmes in Philadelphia warten wollen, war indessen auf den Gedanken gekommen, einen Drachen anzuwenden, und begab sich im Juni 1752 mit seinem Sohne auf ein Feld, auf dem eine einzelne Hütte stand. Er hatte das Gerüst eines Drachen mit einem seidenen Tuche bespannt und mit einer eisernen Spitze versehen, an das untere Ende der hanfenen Drachenschnur einen Schlüssel, und an diesen eine seidene Schnur gebunden, die, nachdem der Drache seine gröfste Höhe erreicht hatte, von dem unter der Thür der Hütte stehenden Beobachter gehalten wurde. Der Drache war schon einige Zeit zum Stehen gekommen, als Franklin einige lose Fasern der Schnur sich aufrichten sah, und sein Finger einen Funken von dem Schlüssel erhielt. Als die Hanfschnur vom Regen genäfst war, erhielt er mehrere und stärkere Funken, durch welche Alkohol entzündet werden konnte. Ein Jahr später wurde der Versuch von de Romas [3]) mit glänzendem Erfolge wiederholt. Der Drache hatte 18 Quadratfufs Oberfläche, keine Spitze, die Schnur war 780 Fufs lang, mit einem Metalldrathe umwickelt, wie er zum Bespinnen der Darmsaiten gebraucht wird, und am unteren Ende an einem 1 Fufs langen, 1 Zoll dicken Metallcylinder befestigt, der von einer 3 Fufs langen Seidenschnur gehalten wurde. Die Funken, die bei dem Versuche aus dem Cylinder gezogen werden konnten, waren 3 Zoll lang, sehr hell, aus weiter Entfernung hörbar und erschütterten den Körper heftig. Ein langer Strohhalm wurde von der Drachenschnur angezogen und lief unter Lichterscheinung eine weite Strecke an ihr hinauf. Im Jahre 1756 erhielt de Romas bei einem ähnlichen Versuche stärkere Funken, angeblich bis 10 Fufs

---

[1]) *Experim. and observat.** 117.
[2]) *History of electr.* 1767.* 180.
[3]) *Mém. de mathém. présentés à l'acad. Paris* 1755* 2. 393.

Länge[1]). Solche Versuche sind häufig angestellt worden; [1041] um zu grofsen Höhen zu gelangen, wendete man gleichzeitig mehrere verschieden grofse Drachen an, indem die Schnur des kleineren Drachen an den Körper des gröfseren gebunden wurde, wie dies Wilson zuerst 1749 zur Untersuchung der Temperatur der Luft gethan hatte[2]).

1042 Dafs zu einer Zeit, in welcher die Franklin'sche Stange geringe Zeichen von Elektricität giebt, die Drachenschnur bis zum Funkengeben elektrisirt werden kann, hat Coulomb[3]) aus seinen Versuchen mit künstlicher Elektricität erklärt. Wenn eine Kugel von grofsem Radius R und mit der mittleren elektrischen Dichtigkeit D, von einem dünnen Cylinder mit Radius r und Dichtigkeit d berührt wird, so ist nach §. 159 $d = 0{,}1875\,D\frac{R}{r}$. Es berühre der Körper des Drachen eine elektrische Luftschicht von 1000 Fufs Radius, die Schnur sei 2 Linien dick, so hat man für die mittlere Dichtigkeit der Schnur $d = 0{,}1875 \,.\, 144000\,D = 27000\,D$. Diese Dichtigkeit ist an dem unteren Ende der Schnur noch mehr als doppelt so grofs, und kann daher sehr wohl kräftige Funken liefern bei schwacher Elektricität der Luft.

1043 Der elektrische Drache ist bei einem Gewitter ein gefährliches Werkzeug, kann aber bei heiterem Himmel sicher gebraucht werden und ist nützlich, wenn man eine längere Zeit hindurch eine grofse Menge Elektricität bedarf. So hat Barry[4]) 1824 die von einer 500 Ellen langen Drachenschnur gesammelte Elektricität zu Zersetzungsversuchen benutzt. Da nicht Jedem aus seinen Knabenjahren die Anfertigung eines Drachen zur gelegenen Zeit erinnerlich sein möchte (ich selbst befand mich einmal in diesem Falle), so will ich die Einrichtung eines Drachen mit den von Gersdorf erprobten Maafsen beschreiben. Aus 2 dünnen Stäben und einem Reifen aus zähem Holze (vom Vogelbeerbaum) wird das Gerippe des Drachen fest zusammengesetzt und mit Bindfäden durchzo-

---

[1]) *Mém. présent.* 4. 514. *Priestley hist.** 356. [2]) Kämtz Lehrb. d. Meteorol.* 2. 395. [3]) *Mém. de l'acad. Par.* 1788.* 654. [4]) *Philos. transact.* 1831. 165. Poggend. Ann.* 27. 478.

[1043] gen, wie es Fig. 207 zeigt. Der Querstab ist 2 Fuſs 6 Zoll lang und kreuzt den, 3 Fuſs 11 Zoll langen, Hauptstab 15 Zoll vom oberen Ende. Das Gerippe wird an einer Fläche mit starkem Papiere überzogen, das mit Leinöl getränkt worden. An dem unteren Ende des Hauptstabes wird der Schwanz befestigt, 28 Fuſs lang und von etwa 10 Loth Gewicht; er besteht aus einem Bindfaden, in den von 3 Zoll zu 3 Zoll ein zusammengelegter, 6 Zoll langer, Papierstreifen quer eingebunden ist. Eine 35 Zoll lange Schnur wird an dem Hauptstabe bei *a* und *b*, 8 Zoll über und 22 Zoll unter dem Querholze befestigt; 10 Zoll von seiner oberen Befestigung ist ein Metallring eingebunden, an dem die Drachenschnur befestigt wird. Diese Schnur, wie die früher gebrauchten, besteht am besten aus Hanf, in den ein lyoner Silberfaden eingedreht ist. Beschwerlicher ist es, den Silberfaden von auſsen um die Hanfschnur zu winden. Um den Drachen bei schwachem Winde steigen zu lassen, wirft ihn eine Person in die Höhe, während eine andere, etwa 20 Schritt entfernte, die Schnur hält und von einer Rolle ablaufen läſst, indem sie dem Winde entgegen läuft.

1044 Die Schleuder und der Pfeil. Wenn man keinen Drachen zur Hand oder nicht die Zeit hat, ihn steigen zu lassen, so dient eine leicht angefertigte Schleuder zur Untersuchung der Elektricität in gröſserer Höhe. Saussure[1]) befestigte an einer, aus drei lyoner Silberfäden gedrehten, 50 bis 60 Fuſs langen Schnur eine 3 bis 4 Unzen schwere Bleikugel, und an dieser eine kurze dicke Seidenschnur. Am andern Ende der Metallschnur befand sich eine leichte Metallzwinge, die den Haken des in §. 49 beschriebenen Elektroskops umfaſste. Die Seidenschnur wurde mit der Hand gefaſst und damit die Bleikugel in die Höhe geschleudert. Im Augenblicke, wo die Entfernung der Kugel vom Elektroskope die Länge der Metallschnur überschritt, lieſs die Zwinge los und lieſs das Elektroskop mit der Elektricität der Luft geladen zurück, die der Höhe der Kugel über dem Boden entsprach. Gersdorf[2]) vertauschte die Schleuder mit einem

[1]) *Voyages dans l. Alpes** 2. 197.
[2]) Atmosphär. Elektric. 1802.* 84.

Pfeile, den er von einem Bogen abschofs; eine Untersuchungs- [1044]
art, die er bald wieder verwarf und die ich aus eigener Erfahrung nicht empfehlen kann. Es gelang mir selten, den Silberfaden auf Wachstaft so auszubreiten, dafs er unverwirrt von dem abgeschnellten Pfeile abgenommen wurde; häufig blieb der Faden an einer Stelle haften und rifs ab. Drache, Schleuder und Pfeil geben Prüfungen der Luftelektricität an *ruhenden* Apparaten, denn die Bewegung dient nur zur Erreichung der Höhe, nicht zur Untersuchung selbst, die erst beginnt, wenn das Missil seine höchste Stelle erreicht hat, und die Schnur isolirt ist, welche die Elektricität in das Prüfungsinstrument leitet. Ich komme nun zu einer Untersuchungsart, bei welcher die elektrischen Zeichen wesentlich an die Bewegung des Apparates gebunden sind.

Untersuchung der Luftelektricität an bewegten Instrumenten.

1045 Man denke sich einen elektrischen Körper vor längerer Zeit an der Decke des Zimmers befestigt, in welchem sich der Beobachter mit seinen Elektroskopen befindet. Obgleich diese Elektroskope die Influenz jenes Körpers erfahren haben, so werden sie unelektrisch erscheinen. Die Influenzelektricität erster Art ist auf die Zuleiter der Elektroskope beschränkt, und die Influenzelektricität zweiter Art, welche das Divergiren der Goldblätter hervorbringt, ist durch Zerstreuung in die Luft verloren gegangen. Eine absichtliche ableitende Berührung der Elektroskope bringt diesen Zustand sogleich hervor. Durch Bewegung der Elcktroskope können beide Elektricitäten zur Anzeige gebracht werden. Hebt man ein Instrument plötzlich, nähert es also dem elektrisirten Körper, so wird die Influenz verstärkt, und die Goldblätter divergiren mit Influenzelektricität zweiter Art, welche der des elektrisirten Körpers gleichnamig ist; senkt man das Instrument, so wird die Influenz vermindert, ein Theil der vorhandenen Influenzelektricität erster Art tritt von dem Zuleiter in die Goldblätter, die dadurch mit dem elektrisirten Körper ungleichnamig elektrisch werden. Die Geschwindigkeit des Hebens und Senkens ist auf die Divergenz des Elektroskops von Einflufs, da,

[1045] wie man sogleich sieht, die Divergenz um desto bedeutender ausfällt, in je kürzerer Zeit die Ortsveränderung ausgeführt ist. Diese Versuche folgen so unmittelbar aus den seit lange vorliegenden Erfahrungen über die Influenzelektricität (§. 167.), daſs ihre Ausführung überflüssig erscheint, die in der That geschehen ist [1]). Man hat also durch Heben und Senken eines Elektroskops ein Mittel, die Art und im Allgemeinen die Stärke der Elektricität eines, hoch über dem Instrumente stehenden, Körpers zu erfahren. Dies Mittel ist zur Untersuchung der Luftelektricität vielfach versucht und in neuerer Zeit sogar zu fortlaufenden Beobachtungen benutzt worden.

1046 Coulomb [2]) isolirte eine kleine Metallkugel an dem Ende einer 6 Fuſs langen Latte, hielt diese im Freien in die Höhe und berührte die Kugel einen Augenblick mit einem Drathe. Die Kugel zeigte sich, an ein Torsionselektroskop gehalten, elektrisch, und zwar mit Influenzelektricität erster Art, die der Luftelektricität ungleichnamig war. Auf einfachere Weise wird die Influenzelektricität erster Art durch ein von Cavallo [3]) angegebenes Instrument aufgezeigt. An dem Ende einer Angelruthe ist durch einen angesetzten Glasstab eine Korkkugel isolirt (Fig. 208.), von der zwei elektroskopische Pendel herabhangen; in den Kork ist eine, an einem Faden befestigte Nadel eingesteckt, der Faden an der Angelruthe befestigt und bis zur Hand des Beobachters herabgeführt. Die Beobachtung geschieht in der Art, daſs man bei erhobener Angelruthe die Nadel mittels des Fadens aus dem Korke zieht, und dadurch den Kork isolirt, so daſs, beim Herablassen des Apparates, die Pendel mit der der Luftelektricität ungleichnamigen Elektricität divergiren. Am einfachsten hat endlich Saussure [4]) beide, durch die atmosphärische Elektricität erregten, Influenzelektricitäten bemerklich gemacht. Er befestigte auf seinem Elektroskope (§. 49.) einen zwei Fuſs langen zugespitzten Stahldrath, legte dasselbe nieder, so daſs Boden und Spitze des Instruments die Erde berührten, und hob es schnell bis zur Höhe seiner Augen, wo-

---

[1]) Gilbert Annal.* 19. 184. Gehler N. Wörterb.* 6. 507. [2]) Biot Physik übers. v. Fechner* 2. 290. [3]) *Complete treatise** 2. 40. [4]) *Voyages dans l. Alpes** 2. 211 *et* 214.

bei die Drathspitze seinen Kopf überragte. Die Pendel des [1046] Elektroskops divergirten mit derselben Elektricität, welche die Luft besaſs, indem, wie man sieht, die Influenzelektricität zweiter Art zur Anzeige kam. Die entgegengesetzte Elektricitätsart (Influenzelektricität erster Art), erhielt Saussure, wenn er den Haken des erhobenen Elektroskopes mit der Hand berührte, und das Instrument zur Erde senkte, oder in ein Haus trug. Die letztere Untersuchungsart brauchte Saussure bei besonders schwacher Luftelektricität. Diese Versuche sind von Erman[1]) an einem Weis'schen Elektroskope (§. 53.) wiederholt worden, das, mit einem 5 Fuſs langen, spitzigen Drathe versehen, bei starker Luftelektricität schon bei einer Hebung von 1½ Zoll divergirte. Die spitzige Endigung des Elektroskops war zur Hervorbringung der Erscheinung nicht nöthig, die gleichfalls eintrat, als auf den Drath eine, mehrere Zoll dicke, Metallkugel gesteckt, oder der ganze Drath in eine oben zugeschmelzte Glasröhre eingeschlossen war. Am einfachsten war der Versuch, wenn das Elektroskop ohne Spitze im Freien auf einen Pfosten gestellt, und ein isolirter Metallstab, der sich darüber oder darunter befand, schnell auf den Knopf des Elektroskops gebracht wurde. Die Divergenzen wurden stärker, wenn der Stab an seinem Standpunkte ableitend berührt wurde, ehe man ihn zu dem Elektroskope führte. Erman hat mehrere Versuche angestellt, die sich leicht nach dem Prinzipe der Influenz und der angenommenen Anordnung der Elektricität in der Atmosphäre (§. 1030.) erklären lassen. So hielt er, 20 Fuſs von einem auf freiem Felde einzeln stehenden Baume entfernt, das mit einem verticalen Drathe versehene Elektroskop in der Hand, und berührte den Drath. Als er sich mit dem wieder isolirten Instrumente dem Baume näherte, divergirte es mit negativer Elektricität, die bis zum Anschlagen der Goldblätter an die Seitenbelegung stieg. Ein Leiter erfährt eine stärkere Influenz, wenn er allein steht, als in der Nähe eines andern Leiters. Die im Freien durch Influenz der Luftelektricität in dem Drathe des Elektroskops erregte negative Elektricität

[1]) Gilbert Annalen 15. 385.

[1046] mufste, je näher das Instrument dem, den Drath weit überragenden, Baume gebracht wurde, in desto gröfserer Menge in die Goldblätter treten, weil in der Nähe des Baumes die, von der Influenz im Drathe zurückgehaltene, negative Elektricität geringer war, als entfernt vom Baume. Unter dem Baume war das Elektroskop der Influenz ganz entzogen und divergirte daher am stärksten, was schon Saussure gesehen hatte, als er sein Elektroskop in ein Haus trug. Berührt man das Elektroskop unter dem Baume, und entfernt sich dann mit ihm, so mufs, wie Erman gesehen hat, das Elektroskop wieder divergiren und zwar desto stärker, je weiter man vom Baume kommt; es leuchtet sogleich ein, dafs diese Divergenzen jetzt von positiver Elektricität herrühren müssen.

1047 Durch die Bewegung eines isolirten Leiters wird die Luftelektricität also in der Art angezeigt, dafs der Leiter beim *Heben* die mit jener *gleichartige*, beim Senken die *entgegengesetzte* Elektricitätsart angiebt. Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man die Luftelektricität durch das in §. 1040 beschriebene Elektroskop untersucht, an dessen Spitze eine glimmende Räucherkerze gesteckt ist, und in einiger Entfernung davon ein Säulenelektroskop aufstellt, zu dem man einen isolirten Leiter hinbewegt. An einem heitern Tage, an dem das feststehende Elektroskop constant positive Elektricität anzeigte, befestigte ich das Bohnenberger'sche Elektroskop (§. 14.) auf einem Stocke in der Mitte eines freien Platzes, und isolirte einen 3 Fufs langen Messingdrath durch einen Glasstab. Dieser Drath wurde vertical über den Stift des Elektroskops gehalten, von dem sein unteres Ende etwa 6 Zoll entfernt blieb, ableitend berührt und dann an den Stift angelegt, indem der Drath zugleich in die horizontale Lage gesenkt wurde. Das Elektroskop zeigte jedesmal negative Elektricität. Der Drath wurde einen Augenblick auf die Erde gelegt, schnell gehoben und vertical auf den Stift des Elektroskops gesetzt, das positive Elektricität bis zum Anschlagen des Goldblattes empfing. Die Senkung des oberen Drathendes im ersten Versuche betrug etwa $3\frac{1}{2}$ Fufs, die Hebung im zweiten 5 Fufs. Beide Versuche gelangen, nur mit etwas geringerer Stärke der elektroskopischen Anzeige,

wenn der Drath vor seiner Bewegung nicht ableitend berührt, [1047] sondern nur einige Sekunden lang an seinem Platze gehalten war. Eine scharfe stählerne Spitze, an dem oberen Ende des Messingdrathes befestigt, hatte keinen merklichen Einflufs auf die Erscheinung. An einem anderen Tage wurde die Luftelektricität an dem Goldblatt-Elektroskope negativ gefunden. Jetzt zeigte das Säulenelektroskop beim Senken des Messingdrathes positive Elektricität, beim Heben negative, beide bis zum Anschlagen des Goldblattes an die Polplatte. Die geringe Senkung des Drathes und Drehung aus der verticalen in die horizontale Lage ist durch eine kleine Handbewegung schnell auszuführen und giebt das bequemste Mittel, die unter einem Gewitterhimmel schnell wechselnde Art der Luftelektricität zu erkennen.

1048 Quetelet[1]) hat durch Senken eines Elektroskops 1842 und in den folgenden Jahren die Luftelektricität täglich beobachtet; hierzu hatte Peltier sein Elektroskop (§. 57.) in folgender Weise verändert. Durch die Decke eines hohlen Glascylinders geht isolirt der kupferne Zuleiter des Instrumentes hindurch, und ist auf dem Fufsbrette durch eine kurze mit Schellack ausgefüllte Glasröhre gestützt (Fig. 209.). Dieser Zuleiter besteht, von unten nach oben betrachtet, aus dem horizontalen Arme *b b'*, dem verticalen Ringe *f*, der 9 Linien dicken Kugel *e*, dem Drathe *d* und der hohlen Kupferkugel *c* von 3 Zoll 8 Linien Durchmesser. Der Drath *d* ist in die Kugel *l* geschraubt, zum Schutze vor Regen wird auf diesen Drath eine über den Cylinder vorspringende Messingschale geschoben. Die Höhe des Instrumentes beträgt 12½ Zoll. In der Mitte des Ringes *f* befindet sich eine verticale Stahlspitze, auf welche die sehr dünne, 2 Zoll 10 Lin. lange, Kupfernadel *a a'* mit einem Hütchen aus Neusilber aufgesetzt wird; auf dem Hütchen ist eine kleine Magnetnadel befestigt. Dieser bewegliche Theil des Elektroskops wiegt 0,32 Gramm. Ist die Nadel auf die Spitze gesetzt, so wird die Schraubenmutter *r* tiefer geschraubt, damit die Nadel beim Transporte des Instruments nicht fallen kann. Die Elongationen der Nadel,

[1]) *Sur le climat de la Belgique* 3ème *part. Brux.* 1849.*

[1048] die an zwei, auf der Deckplatte und Fufsplatte des Cylinders angebrachten, Gradbogen abgelesen werden, müssen durch vorläufige Messungen an der Torsionswage mit den, dem Zuleiter gegebenen, Elektricitätsmengen in Beziehung gesetzt werden. Dies Elektroskop wurde auf einen, die höchste Spitze der Kuppel am Observatorium in Brüssel überragenden, Tisch gestellt und, nach Berührung der Kugel *e* mit einem spitzen Drathe, in das Beobachtungszimmer hinabgetragen und so gestellt, dafs der Arm *bb'* im magnetischen Meridiane lag. Die Abstofsung der Nadel geschah mit der der Luftelektricität entgegengesetzten Art. — In gleicher Weise hat Lamont[1]) in München seit 1850 die Luftelektricität an einem dem Oersted'schen Elektroskope (§. 59.) ähnlichen Instrumente beobachtet; zur Ablesung der Elongation der am Coconfaden schwebenden Nadel war folgende Einrichtung getroffen. Dem Instrumente diente eine mit einer Kreistheilung versehene Glasplatte als Bodenplatte; unter dieser war ein 45° gegen den Horizont geneigter Spiegel, und seitlich davon eine Linse von solcher Brennweite aufgestellt, dafs der Beobachter bei horizontaler Einsicht ein deutliches Bild der Kreistheilung und der schwebenden Nadel erhielt.

1049 Die bisher beschriebenen Prüfungen der Luftelektricität betreffen die Untersuchungen der Influenzelektricitäten, die unter freiem Himmel in einem isolirten Leiter erregt werden. An den ruhenden Apparaten wird die Influenzelektricität zweiter Art, an den bewegten die beider Arten beobachtet, so dafs, mit Ausnahme der Prüfung bei Senkung eines Leiters, überall die Influenzelektricität zweiter Art, die der erregenden Elektricität gleichnamig ist, zur Anzeige kommt. Es wird aber ferner zur Luftelektricität auch die Elektricität der atmosphärischen Niederschläge gezählt, die des Nebels, Regens, Schnees und Hagels. Diese Elektricität läfst man durch Mittheilung auf das Prüfungsinstrument wirken, indem man die Niederschläge in isolirten Metallflächen auffängt, die mit einem Elektroskope in Verbindung stehen. Das runde Schirmdach, das auf einige Elektroskope beim Regen aufgesetzt

[1]) Poggend. Annal.* 85. 495.

wird, dient selbst zum Auffangen der Elektricität; besser ist [1049] es, das Elektroskop in einem geschützten Raume stehen zu lassen, und den zum Auffangen bestimmten Theil an einem besondern Stiele zu isoliren. Cavallo steckte einen umgekehrten Blechtrichter auf eine $2\frac{1}{2}$ Fufs lange Glasröhre und brachte darüber ein kugelförmiges Drathgeflecht an, von dem ein Drath durch die Röhre hindurch zu einem Elektroskope führte. Die Glasröhre wurde an dem Fenster eines Zimmers befestigt, so dafs das Drathgeflecht in's Freie hinausragte, und der untere Theil der Glasröhre durch den Trichter vor dem Regen geschützt war. Dieser Apparat wurde vom Regen zuweilen so stark elektrisirt, dafs eine leydener Flasche an ihm zum Funkengeben geladen werden konnte.

Einflufs des Standpunktes des Apparats auf die Beobachtung.

1050 Die Divergenz eines Elektroskops, das unter einer geriebenen Harzplatte aufgestellt ist, nimmt ab, wenn man dem Elektroskope verticale Leiter nahe bringt, die seine Spitze überragen. Dies ist Folge der Influenz, welche die genäherten Leiter erfahren; die an ihrer Spitze erregte Influenzelektricität, hier positiver Art, wirkt wiederum influenzirend, und das Elektroskop erfährt die einander entgegenwirkenden Influenzen der negativen Harzplatte und der positiven Spitzen der genäherten Leiter. Aus gleichem Grunde zeigen die Prüfungsinstrumente eine desto schwächere Luftelektricität, je näher ihnen höhere Leiter stehen, und je mehr sie von diesen Leitern an Höhe übertroffen werden. Deshalb erhält man keine Anzeige der Luftelektricität in engen Strafsen, nur schwache an den oberen Fenstern der Häuser, stärkere auf Brücken und freien Plätzen, die stärkste auf offenem freien Felde. Die Anzeige der Luftelektricität nimmt ferner zu mit der Höhe, welche die Spitze des Elektroskops über der Erde erreicht. Dies war schon bei den ersten Untersuchungen der Luftelektricität bekannt. Wie Franklin zur Ausführung seines Vorschlages (§. 1031.) eine hohe Warte verlangte, und die gewünschte Höhe durch den Drachen erreichte, so überboten sich die folgenden Beobachter in der Höhe der Stange,

[1050] die sie aufrichteten, und des Drachens, den sie steigen ließen. Später hat man versucht, die Zunahme der Luftelektricität mit der Höhe zu messen. Saussure[1]) beobachtete bei der Besteigung des Môle, eines ziemlich einzelnstehenden Berges bei Genf, sein Elektroskop durch Bewegung (§. 1046.), während an denselben Zeitpunkten ein zweites Elektroskop an einem, 240 Fuſs über dem Genfersee gelegenen Standpunkte beobachtet wurde. Die in den Zeilen stehenden Beobachtungen der folgenden Tafel sind gleichzeitige.

Höhe	Elektroskop	Höhe	Elektroskop
240 Fuſs	0,4 Lin,	2436 F.	1,3 L.
	0,5	3948	1,3
	0,7	4584	4,7
	0,7	—	3,7
	0,8	—	4,1
	0,9	—	3,7
	1,0	—	4,3

Die Zunahme der Anzeige des Elektroskops mit der Höhe seines Standpunktes ist deutlich, obgleich Störungen der Erscheinung durch locale Einflüsse der nächsten Umgebung des Instruments eingetreten waren. So herrschte bei der ersten Beobachtung auf dem Berge ein dicker Nebel, und die erhaltene Divergenz des Elektroskops ist zu groſs. Den störenden Einfluſs der nächsten Umgebung auf den Gang des Elektroskops hat Schübler[2]) in den folgenden Versuchen an dem Abhange eines Berges aufgezeigt.

Höhe über d. Thale	Divergenz d. Elektrosk.	
30 Fuſs	+ 5°	am Fuſse d. Berges, 6 Fuſs üb. d. Erde.
42	9	an ein. freien Standpunkt, 12 F. üb. d. Erde.
98	24	auf einer kleinen Anhöhe, gegen 20 F. über der Erde, entfernt von Bäumen.
195	27	frei auf einer kleinen Anhöhe, gegen 20 F. über der Oberfläche der Erde.
205	18	8 F. üb. d. Erde auf einer flachen Anhöhe.
202	10	5 F. über der Erde auf derselben Stelle.
500	32	10 F. über der Oberfläche der Erde frei von Bäumen auf einer Anhöhe.
510	20	10 F. üb. d. Erde in der Nähe des Waldes.
730	30	10 F. üb. d. Erde; e. hoh. flach. Ebene, frei.
724	13	auf derselben Stelle, 4 F. über der Erde.

[1]) *Voyages dans l. Alpes* §. 1128* 2. 589.
[2]) Schweigger Journal* 9. 350.

Hier zeigt zwar das Elektroskop eine, im Allgemeinen [1050] mit der Höhe zunehmende, Divergenz, aber, da die Standpunkte nicht von gleicher Beschaffenheit gewählt werden konnten, oft für geringere Höhenunterschiede eine bedeutendere Zunahme, als für gröfsere. Schübler zog es daher vor, die Zunahme der elektroskopischen Anzeigen mit der Höhe an einem freistehenden Thurme zu prüfen, wobei das Elektroskop überall 5 Fufs von der Mauer entfernt gehalten wurde. Mit Hülfe eines brennenden Schwefelfadens (§. 1039.) ergaben sich folgende Divergenzen des Strohhalmelektroskops.

Höhe über der Erde	30 Fufs	50	75	145	152	171	180
Divergenz des Elektroskops	15°	20	26	50	53	58	64

Da diese Beobachtungen in kurzer Zeit nach einander und bei heiterem Wetter angestellt waren, so können sie als gleichzeitige gelten. Genaue Zahlenwerthe sind hier von geringem Interesse, da ohne Zweifel die Zunahme der Elektricität mit der Höhe zu verschiedenen Zeiten verschieden ist.

Zweites Kapitel.

Aenderungen der atmosphärischen Elektricität.

Regelmäfsige Aenderungen der atmosphärischen Elektricität.

1051 Die Luftelektricität, auf das Engste mit der Witterung verknüpft, ist einem beständigen Wechsel unterworfen. Auch bei dem scheinbar beständigsten Wetter wird man selten gleiche elektrische Anzeigen an wenig von einander entfernten Zeitpunkten erhalten. Dieser Wechsel bezieht sich aber in den meisten Fällen auf die Stärke der Luftelektricität, nicht auf ihr Zeichen. In 4 Jahren, wo Quetelet[1]) die Luftelektricität fast täglich untersuchte, wurde nur 23 Mal negative Elektricität beobachtet. Unter 10500, in einem Zeitraume von 3 Jahren zu Kew[2]) an bestimmten Tagesstunden angestellten, Beobachtungen finden sich nur 324 mit negativer Elektricität, und diese fast alle, während atmosphärische Niederschläge oder Gewitter am Beobachtungsorte oder in sichtbarer Entfernung davon stattfanden. Man nimmt deshalb an, dafs die Luftelektricität im normalen Zustande *positiver* Art ist, und bei heiterem Himmel herrscht, die negative Elektricität anomal ist und besonders bei schnellem Wechsel der Witterung eintritt. Doch findet dies nicht in aller Strenge statt. Beccaria hat bei heiterem Himmel negative Elektricität gefunden, wenn der Horizont an der Seite getrübt war, von welcher der Wind wehte; ich habe bei vollkommen heiterem Wetter, indefs nur einige leichte Federwolken in meinem Zenithe standen, 10 Minuten lang verhältnifsmäfsig starke negative Elektricität beobachtet. Die normale positive Elektricität ist einem periodi-

[1]) *Climat de la Belgique.** 19.
[2]) *Report of brit. assoc.* 1849.* 176.

schen Wechsel nach den Tages- und Jahreszeiten unterworfen, [1051] der, bei den vielen vom Stande der Sonne unabhängigen Aenderungen, an einzelnen Tagen und Monaten selten rein hervortritt, aber dem Mittel einer grofsen Zahl von Beobachtungen entnommen werden kann.

1052 Tägliche Periode der atmosphärischen Elektricität. Saussure[1]) hat zuerst auf das doppelte Steigen und Fallen der Luftelektricität innerhalb 24 Stunden aufmerksam gemacht. Aus Beobachtungen, die bei heiterem Himmel im Winter angestellt waren, schlofs er, dafs einige Stunden nach dem Aufgange und Untergange der Sonne die beiden Maxima, einige Stunden vorher die beiden Minima der Luftelektricität eintreten. In den mitgetheilten, im Februar 1785 bei einer ungewöhnlichen Kälte angestellten, Beobachtungen liegen die Maxima um 9 Uhr Morgens und 8 Uhr Abends, die Minima 6 Uhr Morgens und 6 Uhr Abends. Die Beobachtungen waren an dem Saussure'schen Elektroskope durch Bewegung erhalten (§. 1046.). — An einem Strohhalmelektroskope und mit Hülfe eines brennenden Fadens (§. 1039.) beobachtete Schübler[2]) im südlichen Deutschland ein Jahr hindurch den täglichen Gang der Luftelektricität. Nach diesen Beobachtungen tritt ein

	Juni bis Aug.	Septbr. b. Nov.	Decbr. b. Febr.	März b. Mai.
Das erste Minim.	4 —5^h Vorm.	7	8 — 7	6½ — 5
erste Maxim.	7½—6 Vorm.	8 — 9	10 — 9	8½ — 7
zweite Minim.	2 — 5 Nachm.			
zweite Maxim.	10 — 8½ Nachm.	8 — 7	6 — 7	7½ — 9

Das zweite Minimum ist in allen Jahreszeiten zwischen 2 und 5 Uhr Nachmittags angegeben, weil in diesen Stunden die Luftelektricität sich nur wenig ändert, und die Zeit des Minimums nicht genau zu beobachten ist. Das Maximum tritt im Sommer Morgens früher, Abends später auf, als im Winter, so dafs die beiden Maxima des Tages im Sommer weiter auseinander liegen. In der Nacht sinkt die Elektricität langsam vom zweiten Maximum zum ersten Minimum.

---

[1]) *Voyages d. l. Alpes* §. 802.* 2. 222.
[2]) Schweigger Journal* 8. 124 u. Beilage; ferner 8. 22.

1053 Das Verhältnifs der täglichen Maxima und Minima zu einander, oder die Gröfse der täglichen Aenderung, ist ebenfalls nach den Monaten verschieden. Schübler hat die folgenden Werthe dieser Gröfse gegeben, indem er das mittlere tägliche Maximum durch das Minimum dividirte, und für jeden Monat aus den so erhaltenen Quotienten das Mittel nahm. Da der Gang der Luftelektricität an heiteren Tagen regelmäfsiger war, als an trüben, so wurde die Rechnung für Tage gleicher Beschaffenheit besonders geführt.

Gröfse der täglichen Aenderung.

	Januar.	Febr.	März.	April.	Mai.	Juni.
bei heiterem Himmel	1,85	1,93	2,29	2,55	2,75	2,87
bewölktem	1,48	1,50	1,98	1,84	1,47	2,13
	Juli.	**August.**	**Septbr.**	**October.**	**Novbr.**	**Decbr.**
bei heiterem Himmel	2,96	2,82	2,94	2,59	2,32	1,56
bewölktem	1,71	1,89	1,88	1,60	1,27	1,29

Die tägliche Aenderung ist im Sommer bedeutender, als im Winter, und an heiteren Tagen gröfser, als an trüben. Bei tiefen Wolken, Nebel, atmosphärischen Niederschlägen und Gewitter werden die Perioden gestört, und fehlen entweder, oder treten in einer der gewöhnlichen entgegengesetzten Weise hervor.

1054 Lassen sich die normalen Wendepunkte der Luftelektricität im Einzelnen nur an Tagen bestimmen, an welchen die störenden Einflüsse fehlen oder sehr gering sind, so werden sie auch deutlich in dem Mittel einer grofsen Zahl von, zu bestimmten Stunden angestellten, Beobachtungen, weil diese in einem längeren Zeitraume von den Störungen in gleicher Weise verändert werden. Dies zeigen die folgenden Mittel der dreijährigen von 2 zu 2 Stunden angestellten Beobachtungen, die zu Kew [1]) bei London an einer Franklin'schen Stange erhalten wurden, an deren Spitze eine brennende Laterne befestigt war (§. 1037.). Es wurden die Divergenzen von drei verschieden empfindlichen Elektroskopen beobachtet (zwei Strohhalmelektroskope, ein Quadrantelektr.) und auf die Divergenz des empfindlichsten reducirt. Die Beobachtungen um Mitter-

[1]) *Report brit. assoc.* 1849.* 126.

nacht, 2 und 4 Uhr Morgens wurden nicht direct erhalten, [1054] sondern aus den Ladungen geschlossen, welche gut isolirte Elektroskope am Morgen zeigten, nachdem sie durch ein Uhrwerk zu den bezeichneten Stunden mit der Franklin'schen Stange in Berührung gesetzt waren. Ich lasse diese Beobachtungen, die sich von den übrigen weit entfernen, aus der Tafel fort. Die beiden Maxima des Tages sind mit Asterisken bezeichnet.

Mittlere Divergenz eines Elektroskops nach 3jährigen Beobachtungen in Kew.

	6h Vormittag	8	10	Mittag	2 Nachmittag	4	6	8	10
Januar		134,7	194,8*	182,4	183,0	172,0	203,7	227,2*	178,2
Februar		149,4	213,8*	179,3	156,8	126,4	186,4	266,2	271,6*
März	52,9	91,5*	89,3	58,2	53,4	54,6	72,3	152,5*	126,1
April	46,3	72,5	72,6*	40,7	42,8	49,6	53,2	87,4	105,1*
Mai	44,3	46,4*	36,9	41,3	39,6	36,4	35,8	49,8	60,7*
Juni	26,2	34,4	37,5*	26,8	25,2	25,9	30,9	36,8	43,2*
Juli	35,6	38,6	66,4*	31,8	34,3	34,1	37,5	41,7	73,5*
August	22,3	31,1	31,3*	28,5	35,4	31,3	35,7	42,3	46,3*
September	25,3	39,8*	36,1	31,0	33,6	35,7	41,0	48,6	52,4*
October	29,0	55,5	61,4	65,1*	46,1	49,4	57,2	68,1	83,0*
November		63,9	93,4*	80,5	71,4	77,9	97,3*	84,4	84,2
December		68,5	132,3*	126,3	122,3	121,3	161,3*	147,2	134,1

Die beiden täglichen Maxima liegen, den gröfsten Theil des Jahres hindurch, 12 Stunden auseinander, erscheinen also in dem nebligen Klima Londons weniger von der Tageslänge abhängig, als im südlichen Deutschland, wo Schübler[1]) die Maxima im Sommer 16, im Winter nur 6 bis 8 Stunden von einander entfernt fand. Dies darf nicht auffallen, da die elektrischen Beobachtungen so sehr von der Beschaffenheit der die Instrumente zunächst umgebenden Luft abhangen, und deshalb neben ihrem allgemeinen Charakter die Eigenthümlichkeit des Beobachtungsortes an sich tragen. Wie grofs der Einflufs des Sonnenstandes auf die Beobachtungen in Kew war, zeigte sich in den, 5 Jahre hindurch fortgesetzten, Beobachtungen[2]), die für jeden Monat eine bedeutend höhere Divergenz des Elektroskops bei Sonnenuntergang, als bei Sonnenaufgang ergaben.

---

[1]) Grundsätze d. Meteorol. Leipz. 1831.* 84.
[2]) *Report brit. assoc.* 1849.* 159.

1055 **Jährliche Periode der atmosphärischen Elektricität.** Saussure[1]) hatte bei heiterem Himmel die Luftelektricität im Winter viel stärker gefunden, als im Sommer, eine Bemerkung, die Volta[2]) bestätigte, der an seinem, mit einer Flamme bewaffneten, Elektroskope im Sommer die Strohhalme höchstens um 8, im Winter um 20 Theilstriche divergiren sah. Die äufseren Verhältnisse, unter welchen die Prüfung in beiden Jahreszeiten angestellt wird, sind nicht sehr verschieden. Denn wenn auch im Sommer die Luft eine gröfsere Menge Wasserdampf enthält, als im Winter, so ist dafür im Winter die Luft ihrem Sättigungszustande näher. Mit beiden Umständen ist eine Vergröfserung der elektrischen Zerstreuung verknüpft (§. 101.), und es folgt daraus, dafs allgemeine Aenderungen in den oberen Schichten der Atmosphäre den elektrischen Zustand in den verschiedenen Jahreszeiten bedingen. Schübler[3]) hat aus zweijährigen Beobachtungen, die mit Anwendung der Flamme an einem tragbaren Elektroskope, an heiteren oder wenig bewölkten Tagen, im südlichen Deutschland an den 4 täglichen Wendepunkten angestellt waren, folgende mittleren Divergenzen des Elektroskops für die einzelnen Monate hergeleitet.

Januar.	Februar.	März.	April.	Mai.	Juni.
24,4	18,5	9,7	7,8	7,9	8,3
Juli.	August.	September.	October.	November.	December.
9,5	10,8	10,4	12,3	11,8	16,3

Hiernach ist die Luftelektricität in den 7 Monaten März bis September bedeutend schwächer, als in den 5 Monaten October bis Februar, nimmt also periodisch im Sommer ab, im Winter zu. Eine gleiche Periodicität, wie an heiteren Tagen, macht sich auch bei Nebeln bemerklich (§. 1056.). Aus den dreijährigen in Kew angestellten Beobachtungen, die ohne Rücksicht auf die Witterung von 2 zu 2 Stunden fortgeführt wurden, sind für die einzelnen Monate die folgenden mittleren Divergenzen berechnet worden.

---

[1]) *Voyages d. l. Alpes* §. 803.* 2. 225.
[2]) *Meteorol. elettr. lett.* 8. *Collezione** I_2. 141.
[3]) Grundsätze d. Meteorol.* 85.

[1055]

Januar.	Februar.	März.	April.	Mai.	Juni.
150,7	166,6	75,0	57,2	37,9	29,3
Juli.	**August.**	**September.**	**October.**	**November.**	**December.**
38,8	29,4	33,0	50,5	69,6	109,5

Auch hier tritt die stärkste Elektricität im Winter, die schwächste im Sommer auf und, wie früher, eine jähe Abnahme der Elektricität vom Februar zum März. — Die regelmäſsigen Aenderungen der normalen positiven Elektricität sind am deutlichsten bei heiterem Himmel, und werden durch Trübung der Luft und Wolkenbildung verringert. Bei gleichmäſsig bedecktem Himmel läſst sich indeſs die tägliche Periode (§. 1053.), wie auch die jährliche deutlich wahrnehmen. Schübler[1]) hat aus zweijährigen Beobachtungen an Tagen mit bedecktem Himmel folgende Mittel gefunden.

Januar.	Februar.	März.	April.	Mai.	Juni.
16,1	9,7	5,0	4,6	5,0	5,7
Juli.	**August.**	**September.**	**October.**	**November.**	**December.**
5,4	7,0	6,3	6,4	8,1	14,1 .

1056 Luftelektricität bei Thau, Nebel und in Wolken. Die Luftelektricität nimmt bei dem Niederschlage des Thaues an Stärke zu, wie Beccaria und Saussure nachgewiesen haben[2]), und wird nach Schübler[3]) besonders stark, wenn dieser Niederschlag mit Nebelbildung verbunden ist. Die Elektricität bei Nebeln ist auffallend, und schon früh bemerkt worden. Ronayne[4]) konnte in Irland im Sommer die Luftelektricität nur aufzeigen, wenn in der Abendkühle ein Nebel eintrat, und fand sie bei Nebel im Winter sehr stark. Diese Elektricität war, bis auf eine Ausnahme, positiver Art. Henley bestätigte die starke Elektricität der Nebel; Volta[5]) fand sie besonders auffallend bei dicken riechenden Nebeln, wenn es fror, so daſs er mit Hülfe einer 20 Fuſs langen Stange, an deren Spitze eine Laterne brannte, Funken erhielt und eine Flasche zu erschütternden Schlägen laden konnte. Schübler[6]) hat 2 Jahre hindurch die Elektricität

---

[1]) Schweigg. Journ.* 8. 22. [2]) Kämtz Meteorolog.* 2. 412. [3]) Schweigger Journal* 8. 124. [4]) *Philos. transact.* 1772. 187. — *abridg.** 13. 310. [5]) *Meteor. elett. lett.* 8. *Collezione** I_2. 141. [6]) Meteorolog.* 87.

[1056] bei Nebel beobachtet, und folgende Zusammenstellung der mittleren Divergenzen gegeben, nach welchen die stärkste Elektricität der Nebel in die Monate December bis Februar fällt.

Januar.	Februar.	März.	April.	Mai.	Juni.
34,1	33,2	21,0	15,5	14,0	16,0
Juli.	**August.**	**September.**	**October.**	**November.**	**December.**
14,0	25	20,5	18,0	18,1	32,7

Die Nebel auf Bergen sind die Wolken der Ebene; Saussure[1]) fand im Nebel auf dem Col du géant positive Elektricität, Schübler[2]) auf mehreren Bergen ebenfalls, vorausgesetzt, dafs es nicht zugleich regnete, wodurch die Elektricität negativ wurde.

Elektricität der atmosphärischen Niederschläge.

1057 Der regelmäfsige Gang der Luftelektricität, der allein in einer Aenderung der normalen positiven Elektricität besteht, und bei heiterem oder gleichmäfsig bedecktem Himmel stattfindet, wird unterbrochen, wenn Wolken über den Beobachtungsort ziehen, die sich kurz darauf mit Regen, Schnee oder Hagel entladen. Die Luftelektricität wird nicht nur plötzlich sehr stark oder schwach, sondern sie ändert schnell ihr Zeichen. So sah schon Canton[3]) 1753, in weniger als ½ Stunde, die Elektricität 5 bis 6 mal ihr Zeichen ändern, eine Veränderlichkeit, die durch jede spätere Beobachtung bei drohendem Unwetter bestätigt worden ist, und von welcher die neuere Erfahrung in Kew eine Vorstellung giebt, wo binnen 5 Minuten von der Franklin'schen Stange ½zöllige Funken sowol mit positiver als negativer Elektricität erhalten wurden, als eine dunkle Wolke über den Apparat zog[4]). In diesem Wechsel findet keine Regelmäfsigkeit statt, und die von Howard und Foggo[5]) gemachte Bemerkung, nach welcher eine Regen-

---

[1]) *Voyages* §. 2071.* 4. 282. [2]) Schweigger Journ.* 9. 357. B. 69. 269. [3]) *Franklin exper. observ.** 157. [4]) *Report brit. assoc.* 1849.* 181. [5]) *Journ. of science No.* 7. Baumgartner u. Ettingshausen Zeitschr. f. Phys.* 1. 296.

wolke an den Rändern negativ, in der Mitte positiv elektrisch [1057] war, ist nicht allgemein gültig. Ebenso wandelbar und regellos ist die Elektricität der atmosphärischen Niederschläge selbst, die in isolirten Gefäfsen aufgefangen werden. Diese Niederschläge werden in zwiefacher Weise elektrisirt; sie führen die Elektricität der Wolke mit sich, aus der sie fallen, und erfahren während des Fallens von der Wolke eine Influenz, die je nach den Umständen, die erste Elektricität stärken oder schwächen mufs. . In dieser Hinsicht sind die Versuche an Wasserfällen und Springstrahlen belehrend, welche als eine in heiterer Luft vereinzelte Regensäule zu betrachten sind.

Elektricität an zerstäubenden Wasserstrahlen. 1058 Als Tralles [1]) unter dem Staubbache im Lauterbrunner Thale den feinen Wasserstaub auf den Deckel eines Elektroskops fallen liefs, erhielt er Anzeige von negativer Elektricität, und dieselbe Erscheinung an anderen Stellen in einiger Entfernung von stürzenden Wassern. Volta bestätigte diese Elektricitätserregung unter gröfseren und kleineren Wasserfällen, über Wasserstürzen oder Strudeln in einem Bache, wenn sich nur an dem Standpunkte des Beobachters eine Säule von Wasserstaub erhob. Bei kleinen Wasserfällen und an einer Schleuse wurde die Elektricität erst mit Hülfe einer, an der Spitze des Elektroskops angebrachten, Flamme merklich, war aber überall negativ. Schübler [2]) fand diese negative Elektricität sehr stark an dem Falle des Reichenbaches, und schon bei einer Entfernung von 300 Fufs merklich; er konnte mit Hülfe einer Flamme eine Flasche durch den Wasserstaub zu Funken und fühlbaren Schlägen in einigen Minuten laden. Auch später hat Schübler diese Elektricität häufig untersucht [3]), und Schwankungen in ihrer Stärke bemerkt, je nachdem der Wind mehr oder weniger Wasserstaub dem Instrumente zuwehte, sie aber niemals anders als negativ gefunden. Dadurch unterscheidet sich diese Elektricität von der des Regens und Nebels, die nicht selten im Zeichen wechselt. Nimmt man die folgende Erklärung der Erscheinung an, so wird die, bei

[1]) *Volta Meteor. elettr. lett.* 7. *Collezione** I_2. 239.
[2]) Schweigger Journ.* 9. 358.
[3]) Schweigger Journ.* 69. 278.

[1058] den vielfachen Beobachtungen der Elektricität der Wasserfälle bemerkte, Constanz des Zeichens um so auffallender. Belli[1]) liefs im Freien Wasser aus einem isolirten Trichter in ein Gefäfs tröpfeln, und fand dies positiv elektrisch. Ein Wasserstrahl hingegen, der durch eine Druckpumpe in die Höhe geworfen war, elektrisirte bei dem Herabfallen das Gefäfs negativ. Als die Pumpe isolirt war, zeigte sie sich in dem Augenblicke, in dem der Wasserstrahl ausfuhr, positiv elektrisch. Diese Versuche, die nur auf einem ganz freien Platze, nicht aber in einem von Gebäuden eng umgebenen Hofe gelangen, lassen sich aus der Influenz der positiven Luftelektricität erklären. Ein senkrechter Wasserstrahl wird durch diese Influenz, wie jeder andere Leiter, am oberen Ende negativ, am unteren positiv elektrisch; man mufs also die vom oberen Ende herabfallenden Tropfen negativ, das untere Ende positiv finden. Bei negativer Luftelektricität würden die elektrischen Zeichen die entgegengesetzten sein müssen.

1059 Elektricität des Regens und Schnees. Volta[2]) hatte angegeben und zu erklären gesucht, dafs, wenn man die Platzregen (*pioggie temporalesche*) ausnimmt, der Regen negativ, der Schnee positiv elektrisch sei. Dies hat sich nicht bestätigt. Die Beobachtungen bei Schnee und Regen haben anhaltend die eine oder die andere Elektricitätsart, zuweilen auch einen Wechsel des elektrischen Zeichens bei demselben Unwetter gezeigt. So hat Schübler[3]) eine graphische Darstellung eines Schnee- und eines Regenwetters gegeben, in welchen die Schwankungen der Elektricität in Hinsicht auf Stärke und Zeichen zu erkennen sind. Doch scheint die negative Elektricität bei Niederschlägen häufiger zu sein. Unter 412 Beobachtungen bei Schnee und Regen, die Schübler[4]) während 30 Monate theils in Ellwangen, theils in Stuttgart anstellte, ergaben 161 positive, 251 negative Elektricität. Hingegen war die Stärke der positiven Elektricität gröfser als die der negativen, jene im Mittel für eine Beobachtung + 69, diese — 43 Theilstriche des Strohhalmelektroskops. Es schien

[1]) *Bibliothèque universelle de Genève** 6. 149. [2]) *Meteor. elettr. lett.* 8. *Collezione** I_2. 288. [3]) Schweigger Journ.* 11. Fig. 3 u. 4. [4]) Schweigger Journ.* 55. 252.

ein Einflufs des herrschenden Windes dabei stattzufinden, der [1059] bei Nord- und Ostwinden der positiven, bei Süd- und Westwinden der negativen Elektricität günstig war. Die Stärke beider Elektricitäten war am gröfsten bei Nordwinden. Indem Schübler[1]) das Mittel der Beobachtungen bei Niederschlägen für jeden Monat berechnete, bildete er folgende Tafel, in welcher zugleich die stärksten beobachteten Elektricitäten, auf Grade des empfindlichsten seiner Strohhalmelektroskope reducirt, angegeben sind.

	Mittlere Anzeige von positiver	negativer Elektr.	Stärkste Anzeige.
Januar	+ 40	— 17	+ 70 bei Schnee.
Februar	41,0	44	— 150 mit + wechselnd b. Regen.
März	74	65	— 340 mit + wechselnd b. Regen.
April	40	58	— 80 bei Regen.
Mai	186	179	± 600 bei Gewitter.
Juni	235	275	± 600 bei Gewitter.
Juli	400	280	+ 600 — 500 bei Gewitter.
August	290	80	+ 500 b. entferntem Gewitter.
September	30	10	+ 30 b. schwachem Regen.
October	26	31	— 60 b. stark. Regen.
November	24	25	+ 55 b. stark. Regen.
December	32	157	— 400 b. Sturm u. Regen.

Das Zeichen ± 600 zeigt an, dafs die Elektricität zu stark war, um von den angewandten Elektroskopen gemessen werden zu können, und schnell von der positiven zur negativen Art überging. Man bemerkt, dafs in den Monaten Mai bis August die Elektricität der Niederschläge am stärksten war, während zu dieser Zeit die positive Elektricität des heiteren Himmels schwächer ist, als in dem übrigen Theile des Jahres. Dies Resultat, aus zu wenigen Beobachtungen gezogen, gilt nicht allgemein, aber es zeigt, dafs die atmosphärischen Niederschläge mit einer selbständigen Elektricitätserregung verknüpft sind, die von der getrennt ist, welche die tägliche und jährliche Periode erzeugt.

Elektricität während eines Gewitters. Der in [1060] Hinsicht auf Stärke und Zeichen bemerkte Wechsel der Luft-

[1]) Meteorologie* 87.

[1060] elektricität, der durch Wolkenbildung und atmosphärische Niederschläge in einer längern Zeit stattfindet, wird bei dem Gewitter in einen kurzen Zeitraum zusammengedrängt, und tritt dabei in gröfster Stärke auf. Sehr starke, wie sehr schwache Divergenzen des Elektroskops mit der einen und andern Elektricität werden dabei in wenigen Sekunden beobachtet. Saussure[1]) sah während eines Gewitters die Luftelektricität so schnell wechseln, dafs er nicht Zeit hatte, die einander verschiedensten Divergenzen aufzuzeichnen, Volta[2]) sah bei einem Gewittersturm an seinem, mit einer Flamme versehenen, Elektroskope 14mal in einer Minute die Elektricität ihr Zeichen wechseln. Der Gang der Elektricität ist bei jedem Gewitter verschieden, und nur der plötzliche Wechsel in Stärke und Zeichen ein constantes Merkmal. Schübler[3]) hat seine Beobachtungen bei zwei Gewittern graphisch dargestellt, und folgende Beschreibung eines Gewitters gegeben, das über den Beobachtungsort fortzog. Der Himmel war einige Tage zuvor gröfstentheils bedeckt, und die Luftelektricität schwach positiv. Als am Tage um 4^h 40′ am südwestlichen Horizonte ein Gewitter aufstieg, nahm die positive Elektricität zu, und stieg ruckweise bei jedem Blitze; es regnete in grofsen Tropfen. Nach 7 Minuten stand das Gewitter am nächsten; unter einem heftigen Blitze mit schnell darauf folgendem Donner ging die positive Elektricität in negative von gleicher Stärke über; es erfolgte ein starker Regengufs, und jetzt nahm mit jedem Blitze die negative Elektricität ebenso zu, wie früher die positive. Das Gewitter entfernte sich gegen Nordwesten, und damit verminderte sich die negative Elektricität. Um 5^h 4′ wurde die Luftelektricität wieder positiv, um 5^h 7′ erfolgte der letzte Blitz mit positiver Elektricität und um 5^h 12′ fiel ein negativ elektrischer Regen. Als dieser nach 6 Minuten aufhörte, nahm die negative Elektricität allmälig ab und wich nach einer halben Stunde der normalen positiven Elektricität.

---

[1]) *Voyages d. l. Alpes* §. 801.* 2. 220.
[2]) *Sopra la grandine part.* 1. *Collezione** I_2. 371.
[3]) Schweigger Journ.* 11. 378.

Drittes Kapitel.

Entladungserscheinungen der atmosphärischen Elektricität.

Begleitende Erscheinungen.

1061 Das St. Elms-Feuer. Glimmlicht und Lichtbüschel, die wir an einem, dem Conductor einer Elektrisirmaschine entgegen gehaltenen, Metallstabe kennen gelernt haben, werden von der atmosphärischen Elektricität an Masten, Kirchthurmspitzen und, unter günstigen Umständen, an niedrigen Gegenständen erregt, und haben von jeher die Aufmerksamkeit auf sich gezogen. Bei den Alten wurde diese Lichterscheinung, wenn sie auf den Masten in doppelter Gestalt erschien, als günstiges Zeichen angesehen, und Castor und Pollux, einzeln erscheinend, als ungünstiges Zeichen, Helena genannt. Der jetzt gebräuchliche Name rührt, wie Piper[1]) nachgewiesen hat, von einem Bischof Erasmus her, der im Anfange des 4ten Jahrhunderts zu Mola di Gaëta den Märtyrertod erlitt, und von den Schiffern des mittelländischen Meeres als ein Helfer auf der See verehrt wurde. Sein Name wurde im Italienischen zusammengezogen, und nach ihm die elektrische Erscheinung benannt, die gewöhnlich bei dem Aufhören eines Sturmes sichtbar wird. Ariosto nennt die Erscheinung *la disiata luce di Santo Ermo*, jetzt ist St. Elmo gebräuchlicher. Plinius[2]) erzählt, er habe aufserhalb des Lagers auf Lanzen Lichter wie Sterne gesehen; ähnliche seien auf Masten und anderen Schiffstheilen bemerkt worden, wo sie mit tönendem Geräusche, Vögeln gleich, ihren Ort veränderten. Zuweilen seien jene Lichter auch auf den Köpfen von Männern gesehen worden. — Von den in späterer Zeit häufigen Be-

---

[1]) Poggend. Ann.* 82. 324.
[2]) *Hist. natur. l. 2. c. 37 — ed.* Franz.* 1. 296.

[1061] schreibungen der Erscheinung, die nach Kämtz am häufigsten im Winter bei stürmischem und gewitterhaftem Zustande der Luft eintritt, mögen einige hier aufgeführt werden. Der Graf Forbin[1]) sah 1696 in der Nacht auf seinem Schiffe mehr als 30 Elmsfeuer. Er befahl einem Matrosen, eines davon herabzuholen, das, über 1½ Fuſs lang, auf der Windfahne des Hauptmastes saſs. Der Matrose hörte, als er oben war, ein Geräusch wie von brennendem nassen Pulver; als er die Windfahne abgenommen hatte, sprang die Flamme auf die Spitze des Mastes und blieb daselbst einige Zeit lang. Zu Nordhausen erschienen 1749 bei einem Gewitter an zehn, aus einem Thurme hervorragenden, Spitzen Flammen, die sogleich wieder erschienen, wenn man sie mit dem Finger auslöschte, und die ein Geräusch, wie Fliegensummen, hören lieſsen. Traill[2]) sah 1837 bei einem heraufziehenden Gewitter an einem, mit einer Eisenkette am Ufer des Meeres befestigten, Kahne den Mast leuchten, und von der Kette eine blutrothe Flamme ausgehen, die sich in einer Ausdehnung von 30 Faden Breite und 100 Faden Länge gegen das Ufer hinzog. Auf der Spitze des Mastes erschien eine Flamme von 1 Fuſs Höhe, die sich beim Herannahen einer Gewitterwolke bis 3 Fuſs verlängerte und nach der Wolke hin richtete. Die Erscheinung dauerte etwa 4 Minuten. Ein Reiter[3]), der sich 1835 bei Aschaffenburg auf einer Fähre mit seinem Pferde über einen Fluſs setzen lieſs, bemerkte ein Leuchten der Mähne und der Ohrenspitzen seines Pferdes, wie der Spitze seiner Reitpeitsche. Das Licht war am stärksten in der Mitte des Flusses und verschwand, als die Fähre das Ufer erreicht hatte. Ein Mann[4]) ritt in einer dunkeln Winternacht bei abwechselndem Schnee, Regen und Hagelschauer von Jülich nach Düren. Zu wiederholtem Male sah er Ohren, Kopf und Hals seines Pferdes in hellem bläulichen Lichte stehen, das von einzelnen Funken auf den Spitzen der Haare herzurühren schien. Die Erscheinung hielt einmal 8 Minuten an. Im Januar 1817[5]) herrschten an der östlichen Küste der vereinigten Staaten Nordame-

[1]) Kämtz Meteorol.* 2. 486. [2]) Poggend. Ann.* 46. 659. [3]) 46. 655. [4]) Pogg. Ann.* 34. 370. [5]) Gilbert Annalen* 70. 120.

rika's Gewitter, von Regen und Schnee begleitet. Personen, [1061] welche sich um diese Zeit im Freien befanden, sahen den Rand ihrer Hüte, Handschuhe, Schweif und Mähnen von Pferden, an dem Wege stehendes Gesträuch und einzeln stehende Baumstämme mit lebhaften, wankenden, verschieden gestalteten Flammen umgeben, die ein schwaches, dem Singen des Wassers ähnliches, Geräusch verursachten. — Bei gewitterhafter Luft ist zuweilen Schnee, Regen und Hagel leuchtend gesehen worden [1]). Halley, Prior des Benediktinerklosters zu Lessay erzählt, daſs 3. Juni 1731 bei einem Gewitter Tropfen, wie von glühendem Metalle, gefallen wären [2]). Torbern Bergman [3]) sah im September 1759 zweimal Nachts den Regen leuchten. Nach Toaldo [4]) fiel 22. September 1773 bei Skara in Schweden Regen, dessen Tropfen beim Aufschlagen auf die Erde leuchteten. Am 26. October 1824 wurde in Würtemberg so stark leuchtender Regen gesehen, daſs es Feuer zu regnen schien [5]).

Leuchten der Wolken. Denkt man sich unelektrische, und in der Nähe von ihnen stark elektrisirte Wolken, so wird ein anhaltendes Ueberströmen von Elektricität in Büscheln und kleinen Funken von den einen zu den anderen eintreten. Dies scheint die Ursache der leuchtenden Wolken und Wolkenstreifen zu sein, die zuweilen beobachtet worden sind. Arago [6]) führt unter anderen Beispielen an, daſs der Major Sabine auf einer schottischen Insel einen Berg beobachtet habe, dessen Spitze mehrere Tage lang von einer Wolke verhüllt war, und daſs diese Wolke Nachts geleuchtet, und Strahlen, wie die des Nordlichts, ausgesendet habe. Joule hat bei einem Gewitter in einer Wolke ein helles rothes Licht 5 Minuten lang gesehen [7]). 1062

Das Wetterleuchten. Hierunter versteht man ein augenblickliches Aufleuchten der Wolken oder helle Blitze darin, die ohne das mindeste Geräusch, bei heiterem oder bewölktem Himmel, gewöhnlich nach heiſsen Tagen wahrgenom-

1) Kämtz Meteorolog.* 2. 488. *Annuaire* 1838.* 382. 2) *Hist. de l'acad. Par.* 1731. — *in*-12.* 26. 3) *Opusc. physica** 6. 189. 4) *Sagg. meteorol.* 274. *Peltier s. l. trombes** 91. 5) Schübler Meteorolog.* 158. 6) *Annuaire* 1838.* 279 *suiv.* 385. 7) *Philos. magaz.* 37. 127. Poggend. Ann.* 82. 599.

[1062] men werden. Wenn dies Leuchten am Horizonte bemerkt wird, kann es von entfernten Gewittern herrühren, von welchen nur die Blitze, nicht die Donner beobachtet werden. Die Erscheinung ist aber auch, wenn auch viel seltener, im Zenith des Beobachters gesehen worden. Brandes [1]) sah hoch am Himmel ein plötzliches Licht, der jüngere de Luc [2]) eine Wolke über sich von den hellsten Blitzen durchfurcht, ohne Donner zu hören; Ayrer [3]), Reichenbach [4]), Bravais [5]) haben lautlose Blitze bemerkt, und Haidinger [6]) hat ein lautloses Gewitter, das die Hälfte des Himmels einnahm, ausführlich beschrieben. Diese Erscheinung ist in derselben Weise zu erklären, wie das Leuchten der Wolken: durch das Ausgleichen des elektrisirten Zustandes von Wolken, die in sehr verschiedenem Grade elektrisirt sind. Nur geschieht hier die Entladung explosiv, und der Mangel des Geräusches dabei kann aus der grofsen Höhe der Wolken über dem Beobachtungsorte und der daselbst stattfindenden Dünne der Luft erklärt werden. Da die Entstehung des Donners noch nicht klar ist (§. 1065.), so bleiben die Gründe für den Fall zweifelhaft, wo er ausbleibt.

1063 Der Blitz. Wenn eine elektrische Wolke in den tieferen Schichten der Atmosphäre sich gegen eine neutrale Wolke oder gegen die Erde hin entladet, so stellt der Entladungsfunke den Blitz dar, dessen Formen sehr verschieden sind. Arago [7]) unterscheidet drei Klassen von Blitzen. Die erste Klasse bilden die den elektrischen Funken unserer Maschinen ähnlichsten Blitze, die eine schmale, scharf begränzte Zickzacklinie darstellen, und eine äufserst kurze Zeit dauern. Man hat diese Blitze zuweilen sich in Zweige spalten gesehen, wie dies auch bei dem künstlichen elektrischen Funken vorkommt. Zuweilen schien es, dafs ein Blitz von einem Orte zu einem andern schlug, und zu dem Ausgangspunkte zurückkehrte; hauptsächlich geschah dies bei vulkanischen Eruptionen, wo die Blitze in die über dem Gipfel des Vulkans stehende Aschenwolke schlugen, scheinbar aus dem Krater hinauf und

---

[1]) Kämtz Meteorol.* 2. 483. [2]) *Annuaire* 1838.* 298. [3]) Poggend. Annalen* 48. 375. [4]) 48. 531. [5]) *Compt. rendus** 19. 240. [6]) Poggend. Annalen* 66. 529. [7]) *Annuaire* 1838.* 249.

wieder in ihn hinab führen. Die zweite Klasse von Blitzen, [1063] bei Weitem die häufigste, zeigt eine plötzlich entstehende Lichtfläche von intensiv rother, zuweilen auch bläulicher Färbung; die Dauer dieses Lichtes ist sehr kurz. Selbst wenn diese Blitze ununterbrochen zu leuchten scheinen, sind aufeinanderfolgende einzelne Blitze von sehr kurzer Dauer nachzuweisen, was Dove [1]) durch einen schnell rotirenden Farbenkreisel gethan hat, der, von solchen Blitzen beleuchtet, in Ruhe zu verharren schien. Wenn die Flächenblitze hinter Wolken entstehen, so erscheint der Umrifs einer vorstehenden Wolke hell erleuchtet, und man glaubt einen Blitz erster Klasse zu sehen, der sich wiederholt in derselben Form bewegt: eine Täuschung, auf die Faraday [2]) aufmerksam gemacht und zugleich bemerkt hat, dafs viele Angaben von Auf- und Niedergehen, Spaltung in Zweigen und der Dauer von Blitzen auf dieser Täuschung beruhen können. Die dritte Klasse von Blitzen ist die räthselhafteste und findet kein Analogon in den Versuchen mit künstlicher Elektricität. Sie bestehen aus erkennbaren Feuerkugeln, die mehrere Sekunden lang beobachtet werden, und in einem Bogen zur Erde herabkommen. Arago führt mehrere Fälle solcher von unverdächtigen Beobachtern beschriebenen Kugelblitze an; Kämtz [3]) beschreibt aus eigener Anschauung Blitze, die in Feuerkugeln endigten, Joule [4]) Blitze von merklicher Dauer, die sich unten in Zweige theilten, und in Funken zerstoben, Babinet einen seltsamen Fall, in welchem ein Kugelblitz sich langsam um einen Menschen herumbewegte, ohne ihn zu verletzen, und dann, in die Höhe fahrend, Schaden anrichtete. Im Juni 1852 sah Meunier kurz nach einander zwei Blitze einschlagen, welche nahe am Boden die Gestalt einer grofsen Bombe zeigten. Ein ähnlicher Fall, der am 17. Mai 1852 stattfand, ist von l'Espée beschrieben [5]). — Bei einer so urplötzlich eintretenden intensiven Lichterscheinung, wie der Blitz ist, der dem noch so eifrig Beobachtenden stets unerwartet kommt, sind viele Täuschungen möglich. Eine Täuschung, welche die aufwärts und ab-

[1]) Poggend. Annalen* 35. 379. [2]) *Lond. Edinb. magaz. ser.* 3.* 19. 104. Poggend. Annal.* 54. 98. [3]) Meteorologie* 2. 427. [4]) Poggend. Annal.* 82. 598. [5]) *Compt. rend. tome* 35.* *p.* 2. 195. 400.

[1063] wärts fahrenden Blitze betrifft, ist von Priestley [1]) an dem Conductor der Elektrisirmaschine aufgezeigt worden. Zieht man mit einer Kugel Funken aus dem Conductor, so scheint der Funke von der Kugel auszugehen, wenn diese über dem Leiter steht, und von dem Conductor, wenn die Kugel unter ihm steht. Dies verschiedene Aussehen desselben Funkens rührt von der verschiedenen Stellung des Auges gegen die Begrenzungen des Funkens her. Eine ähnliche Täuschung findet statt, wenn man durch die Batterieentladung einen Drath zum Glühen bringt, wobei die Gluth, je nach der Stellung des Apparates, an dem einen oder dem andern Ende des Drathes anzufangen scheint, gleichgültig, mit welcher Elektricitätsart die Batterie geladen sein mag. — Daſs, wie der Dichter sagt, der Blitz auch aus entwölkter Höhe schlage, ist durch kein verbürgtes Ereigniſs nachgewiesen. Als Kaiser Joseph II. am 13. April 1784 die ungarische Krone aus Presburg holen lieſs, soll der Blitz unter weithin hörbarem Donner in die Donau geschlagen haben, ohne daſs ein Wölkchen am Himmel zu sehen gewesen sei [2]). Die beiden, von Reimarus [3]) angeführten Fälle, wo der Blitz von der Sonne beschienene Häuser traf, haben nichts Auffallendes, da bei ihnen Gewitterwolken am Himmel bemerkt wurden.

1064 Der Donner. Noch weit mannigfaltiger, als die Form des Blitzes, ist die Art des ihn begleitenden Getöses, des Donners; eine Mannigfaltigkeit, die Lichtenberg zu dem Wunsche veranlaſste, musikalische Beobachter möchten den Donner auf Noten setzen. Am gewöhnlichsten gleicht der Donner dem Gepolter eines mit losen Steinen gefüllten Karrens mit unsymmetrischem Rade, oder dem Knattern einer langen schmalen Blechtafel, die, an einem Ende gefaſst, schnell hin und her bewegt wird, so daſs beide Mittel auf den Theatern zur Nachahmung des Donners benutzt werden. Die Stärke des Getöses nimmt einmal oder öfter zu und ab. Zuweilen ist von Beobachtern, die dem niederfahrenden Blitze nahe standen, zu welchen ich selbst gehöre, nur ein einziger, sehr starker, Knall

[1]) Gesch. d. Elektr.* 478.
[2]) Vehse Gesch. d. deutsch. Höfe. Hamb. 1852.* 14. 238.
[3]) Vom Blitze* 5 und 278.

gehört worden[1]). Tessan[2]) vernahm, als der Blitz in seiner Nähe einschlug, außer einem schmetternden Schlage ein starkes Pfeifen. Der Donner hat gewöhnlich eine Dauer von mehreren Sekunden, Arago[3]) führt ein Beispiel an, wo er 45 Sekunden anhielt. Die Zeit, in welcher der Donner dem Blitze folgt, ist verschieden je nach der Entfernung zwischen dem Beobachter und der Bahn des Blitzes, und wechselt in den publicirten Beobachtungen von ½ Sek. bis 49 Sekunden; eine einzige Beobachtung von De l'Isle giebt 72 Sekunden. Da der Schall bei mittlerer Lufttemperatur in der Sekunde 1037 par. Fuſs zurücklegt, so würde, selbst die letzte vereinzelte Beobachtung angenommen, der Donner nur gehört werden, wenn er nicht weiter als 3 geogr. Meilen vom Beobachter entsteht. Dies ist sehr auffallend, da auf der Erde der Knall des groben Geschützes in einer Entfernung von 10 Meilen gehört worden ist. [1064]

1065 Lange zuvor, ehe die elektrische Natur des Gewitters aufgezeigt worden ist, verglich Wall[4]) das Knacken des Funkens, den er aus geriebenem Bernsteine zog, mit dem Donner. Jetzt, wo man an mächtigen Maschinen einen Funken erhält, dessen Schall dem eines Pistolenschusses wenig nachgiebt, nimmt man keinen Anstand, den Donner von dem Knalle abzuleiten, den der Blitz bei dem Durchschneiden der Luft hervorbringt. Nur in neuerer Zeit hat Tessan[5]) angenommen, daſs der Donner in der Gewitterwolke selbst entstehe, indem die Wolke durch ihre elektrische Ladung einen viel gröſseren Raum einnehme, als die Spannung ihres Wasserdampfes verlangt. Bei dem Ausbrechen des Blitzes werde der elektrische Druck von auſsen nach innen plötzlich aufgehoben, die Luft dringe in den Raum der Wolke ein, und erzeuge den Knall. Durch dies plötzliche Eindringen von Luft werde zugleich ein reichlicher Niederschlag von Wasser verursacht, wie die Verstärkung des Regens nach dem Blitze zeige. — Schwieriger als der Knall des Donners, ist sein Rollen, Poltern, und die wiederholte Aenderung der Stärke seines Schalles zu erklären.

---

[1]) Lichtenberg vermischt. Schrift.* 6. 479. [2]) *De la Rive archives de l'électr.** 1. 253. [3]) *Annuaire* 1838.* 288. [4]) *Phil. transact.* 1708. 69. — *abridg.** 5. 409. [5]) *Compt. rend.* 1841. 1. *sem. Archiv. de l'él.** 1. 253.

[1065] Da das Lösen eines Feuergewehres in einer Schlucht ein donnerähnliches Getöse erzeugt, so nahm man das Echo als Grund des Rollens im Donner; und nicht nur das Echo an terrestrischen Gegenständen, sondern, da auch der Donner auf hoher See rollt, an den Wolkenwänden selbst. Dafs die Wolken den Schall zurückwerfen, bezeugt Arago[1]), der einen Kanonenschufs verdoppelt, oder mit nachfolgendem Rollen hörte, wenn Wolken am Himmel standen, hingegen einfach und mit trockenem Schalle bei heiterem Himmel. Aber der Wiederhall erklärt weder das stofsweise Krachen und wiederholte Anschwellen des Donners, noch den für denselben Beobachter so merklichen Unterschied zweier einander folgenden Donnerschläge. Robert Hooke zog zuerst die Bahn des Blitzes in Betracht, deren einzelne Punkte in verschiedener Entfernung von dem Beobachter liegen. Entstehen an allen diesen Punkten in demselben Augenblicke durch den Blitz Explosionen, so wird der Schall derselben in verschiedenen Zeiten zu dem Beobachter gelangen. Hiermit wird die Dauer des Donners unabhängig vom Echo erklärt, und zugleich das Eintreten der einzelnen krachenden Schläge. Man denke sich eine Anzahl von Böllern und einige Stücke schweren Geschützes in einer, über 2000 Fufs langen, geraden Linie aufgestellt, den Beobachter an einem Ende dieser Linie, und alle Geschütze durch eine Pulverschlange fast gleichzeitig gelöst. Da der Knall des entferntesten Böllers erst in etwa 2 Sekunden zu dem Ohre des Beobachters gelangt, so wird er ein 2 Sekunden anhaltendes Rollen vernehmen, durch stärkere Schläge unterbrochen, in Zeitpunkten, die der Stellung der schweren Geschütze entsprechen. Diese Punkte des stärksten Schalles ist man versucht, bei dem Blitze da zu suchen, wo er sichtlich einen Widerstand erfährt, der ihn von der geraden Bahn ablenkt, an den Wendepunkten seiner Zickzackform. Es ist in der That eine Beobachtung von Helvig[2]) vorhanden, nach welcher einem Blitze mit 4 Wendepunkten ein Donner folgte mit ebenso vielen, deutlich von einander unterschiedenen, Schlägen. Aber

---

[1]) *Annuaire* 1838.* 453.
[2]) Gilbert Annalen* 51. 119.

auch mit jener Vorstellung ist der Donner nicht vollkommen [1065] erklärt. Da nämlich der Schall mit der Entfernung schwächer wird, so müfste der zuerst vernommene Schall des Donners stark sein und, mit Ausnahme der einzelnen Schläge, allmälig abnehmen. In dieser Weise wird aber der Donner am seltensten gehört, der gewöhnlich schwach anfängt, anschwillt und wieder abnimmt. Kämtz[1]) hat deshalb noch eine Erfahrung hieher gezogen, die unter dem Namen der Interferenz der Schallwellen bekannt ist. Dreht man dicht vor dem Ohre eine angeschlagene Stimmgabel einmal um ihre Axe, so bemerkt man viermal eine Schwächung des Tones, die von dem Zusammenfallen zweier Systeme von Schallwellen herrührt, die sich in entgegengesetzten Phasen der Schwingung befinden. Kämtz leitet die Stellen auffallender Schwäche des Donners von einem gleichen Grunde her, und die Stellen auffallender Stärke von zwei in gleichen Phasen befindlichen Wellensystemen, die zugleich an das Ohr des Beobachters gelangen. — Mögen auch alle angegebenen Ursachen bei dem Getöse des Donners mitwirken, so sind wir doch noch entfernt davon, daraus die merkwürdige Schallerscheinung mit genügender Klarheit abzuleiten.

Wirkungen der Entladung der atmosphärischen Elektricität.

1066 Die Wirkungen der in einer Batterie angehäuften Elektricität, die ich im zweiten Abschnitte beschrieben habe, kommen auch bei der Entladung der atmosphärischen Elektricität vor, nur in gröfserer Stärke, wie sie von der Menge und Dichtigkeit der Elektricität, die mit dem Blitze sich entladet, erwartet werden kann. Bei den starken Wirkungen des Blitzes ist nichts Wunderbares; es könnte im Gegentheile eher auffallen, dafs der Blitz häufig nur geringe Wirkungen ausübt. Der Fall ist nicht selten, dafs ein vom Blitze getroffener Mensch mit einigen Brandblasen, ein Baum mit dem Verluste eines Streifens Rinde davonkommt, dafs sich die Beschädigungen eines

[1]) Meteorologie* 2. 435.

[1066] Hauses auf ein zerbrochenes Fensterkreuz und abgesprengten Kalkbewurf beschränken. Auch sind die Gewitter nicht so häufig, als daſs der von ihnen angerichtete Schaden gegen den in Betracht käme, welchen andere Naturerscheinungen anrichten. Wie schon Lichtenberg bemerkt, ist die Zahl der vom Blitze erschlagenen Menschen unerheblich klein gegen die Zahl derer, welche durch plötzlich eintretende Kühle an Erkältungen sterben. Dennoch finden sich von früh an die Beschädigungen durch den Blitz sorgsam und häufig auf das Ausführlichste aufgezeichnet, und es lieſsen sich viele Bände mit den Beschreibungen von Blitzschlägen anfüllen, die bis zum heutigen Tage geliefert worden sind. Es ist das Urplötzliche in dem Erscheinen und Verschwinden der Ursache der Zerstörung, das dieser die Beachtung der dabei Gegenwärtigen in so hohem Grade zugewendet hat. Für die Elektricitätslehre ist die Menge jener Beschreibungen von geringer Bedeutung, und schon wenigen Fällen sind alle interessanten Wirkungen des Blitzes zu entnehmen. Systematische Sammlungen von Blitzschlägen sind von Reimarus [1]) und neuerdings von Arago [2]) geliefert worden.

Zündung und Schmelzung durch den Blitz.

1067 Auf zwei Punkte ist nach einem Blitzschlage die Aufmerksamkeit des Beschauenden von jeher besonders gerichtet gewesen: auf die Zündung brennbarer Substanzen und die Schmelzung von Metallen. Nicht, als ob es je Wunder genommen hätte, wenn Brennbares, von einer so glänzenden Feuererscheinung, wie der Blitz ist, getroffen, in Flammen ausbrach, oder Metall zerstört wurde; sondern im Gegentheil, wenn Holz, Stroh u. s. w. zersplittert und verstreut wurden, ohne zu brennen. Die Fälle solcher ausbleibenden Zündung sind so häufig, daſs für sie eine eigene Bezeichnung vorhanden ist: man sagt, daſs ein *kalter Schlag* stattgefunden habe, wenn der Blitz auf einen brennbaren Gegenstand gefallen ist, ohne ihn anzuzünden.

---

[1]) Vom Blitze. Hamb. 1778. Neuere Bemerkungen vom Blitze. Hamb. 1794.
[2]) *Annuaire pour* 1838.

Auch dies hat nach den Versuchen mit künstlicher Elektricität [1067] nichts Auffallendes. Wir haben gesehen (§. 605.), daſs man den Batteriefunken als kalten Schlag durch Schieſsbaumwolle, Phosphor, Schieſspulver und Feuerschwamm gehen lassen kann, wenn man den Schlieſsungsbogen aus guten Leitern zusammensetzt, daſs man hingegen diese Substanzen unfehlbar entzündet, wenn die Entladung durch eine eingeschaltete Wassersäule verlangsamt worden ist. Der Blitz muſs, um zu zünden, in seinem Gange aufgehalten werden, wozu die Bedingungen nur selten vorhanden sind. Wenn alte trockene Bäume leichter vom Blitze entzündet werden, als junge vollsaftige, so ist dies nicht der gröſseren Entzündlichkeit der ersteren zuzuschreiben, sondern der schlechten Leitung, die sie dem Blitze gewähren. Im Gegensatze dazu verlangt die Schmelzung eines Metalles einen intensiven Blitz und ist daher häufig ohne gleichzeitige Zündung beobachtet worden. Die von den Alten gegebenen Beschreibungen solcher Fälle haben durch ihre Fassung Verwunderung erregt. Aristoteles[1]) führt an, der Kupferüberzug eines Schildes sei durch den Blitz geschmolzen, die darunter liegende Holzplatte unverletzt geblieben. Varro berichtet nach einer Angabe des Nonius Marcellus[2]), Goldgeschirr sei in einem Korbe durch den Blitz geschmolzen, ohne daſs der Korb versehrt worden. Seneca[3]) führt als Zeichen der göttlichen Natur des Blitzes an, daſs durch ihn Silbermünzen in unverletzten Fächern eines Kastens geschmolzen, ein Schwert in der Scheide zusammengeflossen, der Eisenbeschlag einer Lanze von dem Schafte abgetröpfelt sei. Nach Plinius[4]) ist Gold, Erz, Silber in Beuteln geschmelzt worden, ohne daſs diese und die daran befestigten Wachssiegel verletzt wurden. Plutarch endlich erwähnt in den Symposien (lib. 4 quaest. 2), der Blitz habe Kupfermünzen in dem Gürtel eines Schlafenden zu einer Masse geschmelzt, ohne die Kleider desselben zu versengen, es seien durch ihn silberne Becher in unzerstörten hölzernen Futteralen zerschmolzen. Man glaubte diesen Erzählungen entnehmen zu können, daſs durch den Blitz geschmelzte

---

[1]) *Meteorologia* lib.* 3. *cap.* 1. [2]) *De compendiosa doctrina edd.* *Gerlach, Roth.** 228. [3]) *Quaest. natur. l.* 2. *c.* 31. *Senecae opera ed. Lipsius* Antv.* 1605. 700. [4]) *Hist. nat. l.* 2. *c.* 52. — *ed. Franz** 1. 345.

[1067] Metallmassen, mit entzündlichen Stoffen in Berührung gebracht, diese nicht entzündeten, und schlofs, dafs jene flüssig gemachten Metalle eine viel geringere Wärme besäfsen, als wenn sie durch irdisches Feuer geschmelzt worden wären. Um das Falsche dieser Meinung aufzuzeigen, braucht man nicht die Fälle aufzusuchen, in welchen durch den Blitz geschmolzene Metalle Holz versengten. Jene Erzählungen werden durch das Gesetz erklärt, nach welchem die elektrische Erwärmung je nach dem Querschnitte des Metallstückes variirt, das der Entladung ausgesetzt ist, und durch die mechanische Auseinanderreifsung und Zerstreuung einzelner Theile eines Metalles. Es ist gezeigt worden (§. 656.), dafs aufeinandergelegte Münzen durch einen Batterieschlag an ihren Flächen Schmelzungen erleiden, während das übrige Metall verhältnifsmäfsig kalt bleibt. Solche theilweise Schmelzungen an den Münzen, dem Goldgeschirr, dem Schilde müssen in den angeführten Erzählungen verstanden werden, und dann lassen sich ihnen ganz ähnliche Fälle anreihen, die in neuerer Zeit beobachtet worden sind.

1068 Nach Murets [1]) Erzählung schlug wenige Monate vor dem Tode des Kardinals Hippolyt von Ferrara der Blitz in den Palast desselben, und schmelzte in Muret's Zimmer die Spitze eines Degens zu einer Kugel, ohne die Scheide zu verletzen. In der Nacht des 17. Juli 1767 [2]) schlug in Paris der Blitz in einen Kasten, der, aufser einigem Eisengeräth, ein offenes, mit ½ Pfund Schiefspulver gefülltes Pulverhorn enthielt. Die Eisenstücke erlitten Schmelzungen, das Pulver wurde nicht entzündet. Im Jahre 1781 [3]) fiel der Blitz auf zwei Edelleute, die in der Nähe von Castres zu Pferde waren, und erschlug den einen von ihnen. An den Jagdmessern Beider fanden sich Schmelzungen, von welchen einige dicht unter der unversehrten Lederscheide lagen. Am 9. September 1843 [4]) schlug der Blitz in eine Kaserne zu Fougères in der Bretagne, und schmelzte an den Zaumzeugen der Pferde die Enden der Gebisse, so dafs sie zusammengelöthet wurden, ohne die daran befestigten Riemen zu beschädigen. Desormery [5]) wurde

---

[1]) *Senecae opera ed. Lipsius* * 706. [2]) *Mém. de l'acad. Par.* 1767.* 29.
[3]) *Annuaire* 1838.* 308. [4]) *Compt. rend. de l'acad.* 1843. 2. *sem.* * 908.
[5]) *Compt. rend.* 1849.* 28. 138.

im October 1848 von einem Blitzstrahle niedergeworfen. Als [1068] er einige Zeit darauf seine Börse zog, fand er alles Silbergeld zusammengelöthet, das Gepräge darauf geschmolzen und verlöscht; das Kupfergeld in derselben Börse hatte keine Aenderung erlitten. Aehnliche Fälle sind häufig beschrieben worden [1]), und lassen sich im Kleinen mit künstlicher Elektricität nachahmen; sie lehren, dafs der Blitz, wie die künstliche Elektricität, nur an den dünnen Stellen eines Metalles eine Schmelzung hervorbringt, und dafs diese Stellen beim Ein- und Austritte der Elektricität an einem Metallstücke häufig entstehen, indem daselbst das Metall aufgerissen und zerkleinert wird. Auch die blofse Zerreifsung von Dräthen, die unter den mechanischen Wirkungen der Batterieentladung aufgeführt ist, leistet der Blitz, wenn die Dräthe hinlänglich dick sind. Doch hatte der dickste Drath, den Reimarus [2]) vom Blitze in kleine Stücke zerrissen sah, nur $\frac{1}{10}$ Zoll Durchmesser, und dickere Dräthe blieben gröfstentheils unzerstört.

1069 Schmelzung von erdigen Massen. Die Blitzröhren. Wenn der Blitz eine künstliche oder natürliche erdige Masse trifft, so wird diese an der Oberfläche geschmelzt und erhält ein glasartiges blasiges Ansehen. Saussure untersuchte einen von einem Blitzschlage herabgeworfenen Mauerstein, der an der Oberfläche mit Glasblasen bedeckt war. Als er daher an Granitstücken, die ihm von dem Gipfel des Mont-blanc gebracht worden waren, schwärzliche Tropfen und Blasen von glasartigem Gefüge und der Gröfse von Hanfkörnern fand, erklärte er jene für eine Wirkung des Blitzes [3]). Er suchte diese Meinung durch einen Versuch zu unterstützen. Ein zolllanges Stück Hornstein wurde in einer mit Sauerstoffgas gefüllten Röhre der Entladung von zwei leydener Flaschen ausgesetzt; es wurde gespalten und zeigte an den Bruchflächen unter der Lupe deutlich offene und geschlossene Glasblasen. Aehnliche Spuren des Blitzes sind von Ramond in den Pyrenäen am Glimmerschiefer entdeckt worden, indem er die Oberfläche des Gesteins mit einem gelblichen Email

[1]) Reimarus vom Blitze.* S. 227. 233. 234. 305. 306. 308.
[2]) Vom Blitze.* 329.
[3]) *Voyages dans l. Alpes* §. 1153.* 2. 608.

[1069] und Blasen von Erbsengröfse bedeckt sah. Humboldt und Bonpland[1]) sahen an einem Trachytfelsen, auf der Spitze des Vulkans von Toluca in Mexiko, eine Stelle von 2 Quadratfufs Fläche mit einem olivengrünen glasartigen Ueberzuge, der $\frac{1}{10}$ Zoll dick war und muthmafslich von Blitzschlägen herrührte. Das Gestein war durchlöchert und die Glasrinde ging in's Innere. An einem von Humboldt mitgebrachten Stücke dieses Felsens fand Gilbert ein cylindrisches Loch von 2 Linien Weite, 6 Lin. Länge mit grünglasiger Bekleidung. Bei den Füfsen eines, im Juli 1725 vom Blitze erschlagenen, Schäfers wurden zwei, etwa 3 Fufs tiefe, 5 Zoll weite Löcher in der Erde gefunden, die nach unten sich einander näherten und dann seitlich ausbreiteten[2]). In einem dieser Löcher wurde ein sehr harter verglaster Stein gefunden. Am merkwürdigsten ist das Product der Schmelzung, wenn der Blitz in einen eisenhaltigen Sandboden schlägt; es werden dann aus dem zusammengebackenen Sande oft sehr lange vielfach verästelte Röhren gebildet, die unter dem Namen *Blitzröhren* bekannt sind. Im September 1789 wurde ein Schäfer bei Packington getödtet. Unter dem Ende seines Stockes fand man ein 5 Zoll tiefes, 2½ Zoll weites Loch im Boden, und einen Fufs tiefer eine geschmolzene quarzige Masse mit Höhlungen[3]). Hagen[4]) grub im Juli 1823 unter einer Birke nach, die der Blitz einige Tage zuvor getroffen, der zwei tiefe Löcher in den Boden geschlagen und das Gras umher verkohlt hatte. Der Boden bestand aus grobem gelben Sande auf einer Lehmschicht. Einen Fufs unter dem einen Loche wurde eine Blitzröhre gefunden, die nur in Stücken von höchstens 3 Zoll Länge herausgebracht werden konnte. Die Wände der Röhre waren so dünn wie Postpapier, innen spiegelglatt, auswendig durch angeschmelzte Sandkörner rauh. Es sind viele Blitzröhren aufgefunden worden, theils gleich nach Blitzschlägen, theils ohne Kenntnifs der Zeit ihrer Entstehung. Fiedler[5]) hat diese merkwürdigen Producte unermüdlich aufgesucht und

---

[1]) Gilbert Annalen* 71. 343. [2]) *Philos. transact.* 1725. 366. — *abridg.** 7. 105. [3]) *Philosoph. transact.* 1790. 293. — *abridg.** 16. 663. [4]) Gilbert Annal.* 74. 326. [5]) Gilbert Ann.* 55. 121. B. 61. 285. B. 68. 209. B. 71. 301. B. 74. 213.

von ihnen die ausführlichsten Beschreibungen geliefert. — Die [1069] Blitzröhren sind röthlich oder grau gefärbt, haben die Form von verästelten Baumwurzeln und verdünnen sich nach unten; ihr Durchmesser variirt von $\frac{3}{4}$ bis 20 Linien, die Dicke ihrer Wände von $\frac{1}{4}$ bis 11 Linien, ihre letzten Ausläufer führen häufig auf Wasseransammlungen. Die Röhren mit dicken Wänden sind von aufsen knorrig und durch Quersprünge in viele Stücke getheilt, die höchstens einige Zolle lang sind; die dünnwandigen Röhren sind aufsen glätter, ihre Höhlung ist runder, und sie zeigen weniger Quersprünge. Fiedler hat eine Blitzröhre ausgegraben und zusammengesetzt, die in gerader Linie gemessen 8 Ellen $5\frac{3}{4}$ Zoll lang war. Die bisherigen Fundorte dieser Gebilde sind die Senner Haide bei Paderborn, Pillau bei Königsberg, die Nietleber Haide bei Halle, der Regenstein bei Blankenburg, die Umgebung von Dresden, die Bantelge bei Münster, Zankendorf in Ungarn, Drigg in Cumberland. In der Ebene von Bahia hat man, statt der Röhren, tief gefurchte, unregelmäfsige Stücke von gleicher Beschaffenheit aber festerem Gefüge gefunden, im Thale Dibla am Rande der Sahara korallenförmige Gebilde [1]). — Versuche mit der elektrischen Batterie erläutern die Bildung der Blitzröhren. Der Entladungsfunke, durch freiliegendes Glaspulver geleitet, gräbt eine Furche in dasselbe, indem ein Theil des Pulvers mit grofser Gewalt umhergeworfen wird. Hindert man das Pulver am Ausweichen, so mufs es zusammengedrückt werden und, da es durch die Entladung erhitzt ist, zu einer festen Masse zusammenschmelzen. Beudant stellte mit Hachette und Savart künstliche Blitzröhren dar [2]). Als ein Loch in einem Ziegelsteine mit Glaspulver ausgefüllt, und die Entladung einer grofsen elektrischen Batterie hindurchgeleitet wurde, entstand eine Röhre, von 25 Mm. Länge mit einem Durchmesser von 3 bis $1\frac{1}{2}$ Mm., deren Höhlung $\frac{1}{2}$ Mm. weit war.

---

[1]) Kämtz Meteorologie* 2. 444.

[2]) *Annales de chim. et de phys.* 37. 319. Poggend. Annal.* 13. 118.

Mechanische Wirkung des Blitzes.

1070 An Metallen und Steinen. Die mechanische Wirkung, die bei der Schmelzung mit der Erregung von Wärme vereint vorkommt, zeigt sich einzeln in Verdrückungen und Zersprengungen. Metallstücke, die von dem Blitze nicht geschmelzt werden, erhalten durch ihn Verbiegungen und Verzerrungen. Im Juni 1782 schlug der Blitz in ein Haus [1]) und verkürzte den Drathzug, mittels dessen das Schloſs einer Thür geöffnet werden konnte, um mehrere Zolle. Im September 1785 fiel der Blitz auf den Kirchthurm zu Dortmund in Westphalen. Die Auffangstange des Blitzableiters wurde wellenförmig und so stark verbogen, daſs die gröſste Biegung fast um einen Fuſs von der verticalen Richtung der Stange abwich [2]). Die stärkste mechanische Wirkung bringt der Blitz an schlechten Leitern hervor, an Holz und Steinen, die oft mit ungeheurer Gewalt auseinandergerissen und fortgeschleudert werden. Arago führt davon mehrere Fälle an [3]). Im Januar 1762 zerstörte der Blitz einen Kirchthurm in Cornwall; ein Stein von 3 Centner Gewicht wurde 180 Fuſs, ein kleinerer 1200 Fuſs weit geschleudert. Bei Funzie in Schottland wurde ein Glimmerschiefer-Felsen, 105 Fuſs lang, 10 breit und an einigen Stellen 4 Fuſs dick, aus der Erde gerissen und in 3 groſse Stücke gespalten, von welchen das eine, 28 Fuſs lang, 7 breit, 5 dick, über einen Hügel fort 150 Fuſs weit, ein anderes, 40 Fuſs langes, Stück noch weiter in's Meer geschleudert wurde. Als das auffallendste Beispiel mechanischer Wirkung wird der folgende Fall angeführt [4]). In einem Hause unweit Manchester verschob im August 1809 der Blitz eine 3 Fuſs dicke, 12 Fuſs hohe Mauer, die zwischen einem Keller und einer Cisterne lag, dergestalt, daſs das eine Ende der Mauer um 4, das andere um 9 Fuſs von seiner früheren Stelle fortgeschoben war. Die Mauer bestand aus 7000 Steinen und wog ungefähr 52000 Pfd. Diese ganze Last muſste durch den Blitz vom Boden aufgehoben worden sein, um ihre Fortbewegung möglich zu machen. Auch das Fortschleudern von

---

[1]) *Annuaire* 1838.* 320. [2]) Reimarus Neueres v. Blitze.* 106. [3]) *Annuaire* 1838.* 338. [4]) *Mém. of phil. soc. Manchest.* 2. 2. Gehler Neues Wörterbuch* 1. 1030.

Menschen ist bemerkt worden. Im Juni 1839 wurde ein Mann unter einer Eiche vom Blitze erschlagen und 70 Fuſs weit fortgeführt, so daſs seine Leiche unter einem Kastanienbusche gefunden wurde [1]). Franklin und nach ihm Arago [2]) haben die auffallendsten mechanischen Wirkungen des Blitzes durch den Dampf von groſser Expansivkraft zu erklären gesucht, der bei der Erhitzung von dem, in Steinen zufällig eingeschlossenen, Wasser gebildet wird. Es ist indeſs gewiſs, daſs der Blitz direct Körper, die er zersprengt, mit groſser Gewalt fortzuschleudern vermag, wie im Kleinen die Zerstreuung des durch einen Batterieschlag zerstäubten Metalles zeigt. [1070]

1071 Zersplitterung von Holz. Da ein Buchsbaumcylinder von 3 Zoll Höhe und Breite schon durch den Entladungsschlag einer leydener Batterie zerschmettert worden ist (§. 553.), so kann es nicht auffallen, daſs der Blitz an Holzwerk groſse Verwüstungen anrichtet, die stärksten Bäume spaltet, die dicksten Balken zersplittert. Aber es kommen dabei eigenthümliche, zum Theil noch nicht aufgeklärte, Erscheinungen vor. Zuerst tritt häufig eine Zerschlitzung des Holzes in dünne Latten und Fasern ein, die oft beschrieben worden ist. Eines der ältesten Beispiele hiervon gab der Blitz, der 1676 die Abtey de St. Médard de Soissons traf. Einige Tragbalken des Dachstuhles wurden in einer Länge von 3 Fuſs in sehr dünne Latten gespalten, andere in lange Stäbe zertheilt, endlich andere so zerfasert, daſs sie abgenutzten Besen glichen [3]). An grünem Holze ist die Erscheinung weniger häufig, indem der Blitz gewöhnlich zwischen Holz und Rinde durchgeht und die Rinde zerreiſst. Im Juni 1756 traf der Blitz eine einzeln stehende, nahe 60 Fuſs hohe Eiche bei der Abtey du Val. Die oberen Zweige des Baumes wurden von ihrer Rinde entblöſst und zerrissen, der Stamm wurde gänzlich bloſs gelegt und bis 6 Fuſs vom Boden in dünne Latten gespalten, die abgesprengte Rinde 30 bis 40 Schritte weit zerstreut. Stamm, Zweige und Blätter waren gänzlich ausgetrocknet [4]). Franklin [5]), der die Zerschlitzung der Bäume zu Besenähnlichen

[1]) *Compt. rend.* 10. 115. Poggendorff Ann.* Ergänz. 1. 527. [2]) *Annuaire* 1838* 464. [3]) *Mém. de l'acad. Par.* 1764. 433. *éd. in-12.** 716. [4]) *Hist. de l'acad. Paris* 1756. 27. *éd. in-12.** 43. [5]) *Experim. and observat.** 423.

[1071] Bündeln als nicht selten angiebt, erklärt diese Erscheinung durch plötzliche Verdampfung des Saftes im Holze, und Aufreifsen desselben in der Richtung der Längsfasern. Diese Erklärung wird durch die Erfahrung unterstützt, dafs Holz von durchschlagenden elektrischen Funken bedeutend erwärmt wird (§. 700.), und die durch den Blitz in Latten zerspaltenen Hölzer sehr trocken gefunden werden. Gasparin[1]) brachte solche Latten in ein heifses Luftbad und unter die Glocke einer Luftpumpe, ohne einen Gewichtsverlust zu finden, der bei anderem Holze eintritt. Der Verdampfung des Baumsaftes ist ebenfalls ein Fall zuzuschreiben, in dem Boussingault[2]) einen Birnbaum durch den Blitz, unter Dampfentwickelung, seiner Rinde plötzlich beraubt werden sah. Vollsaftige Bäume scheinen hauptsächlich der Spaltung in Latten ausgesetzt zu sein; Martins[3]) fand unter den durch eine Trombe beschädigten Bäumen die Kiefern, Tannen und Lärchen zerschmettert, während Laubbäume zerschlitzt waren.

1072 Bemerkenswerth ist der Gang in einer Schraubenlinie, den der Blitz zuweilen an grünem oder verarbeitetem Holze nimmt. Der erste Fall dieser Art wurde im Jahre 1710 bemerkt und ist von Scheuchzer[4]) mitgetheilt worden. Reimarus[5]) beschreibt die folgenden Fälle. Im Juni 1718 hinterliefs der Blitz an einer Eiche im Stifte Trebnitz in Schlesien eine am Stamme zwischen den Zweigen schraubenförmig herunterlaufende schwärzliche Furche, in welcher die Rinde in verschiedener Breite theils abgeschält, theils eingerissen war; der Rifs hatte Handbreite und war in der Mitte tiefer, als am Rande. Im Jahre 1731 war der Blitz auf zwei Eichen in Whinfield in Cumberland gefallen; an der einen war von oben bis unten ein gerader Splitter ausgerissen, 3 Zoll breit und 2 tief, an der anderen war der Stamm in einer Schraubenlinie zersplittert, die drei Windungen machte. Ein ähnlicher Fall ereignete sich 1742 unweit Thoredon in England. Der Blitz traf zwei Eichen, spaltete die eine ihrer ganzen Länge nach, liefs die Zweige der andern gänzlich unbeschädigt und schälte die Rinde des Stammes in einer Schrauben-

[1]) *Compt. rend*.* 13. 223. [2]) Poggend. Annalen* 81. 455. [3]) Poggend. Annal.* 81. 456. [4]) *Meteorol.* 28. [5]) Vom Blitze* 14.

linie ab, die in der Höhe von 40 Fufs anfing und 1 Fufs vom [1072] Boden endigte. An einer Espe bei Hamburg und einer Pappel bei Breslau hinterliefs der Blitz ebenfalls schraubenförmige Spuren. In neuester Zeit ist ein Fall von Grebel beschrieben worden [1]). Der Blitz war auf eine 58 Fufs hohe Erle gefallen, hatte den Stamm am obern Drittel getroffen, und war in zwei Windungen spiralförmig um den Baum in die Erde gegangen. Rinde und Bast waren abgesprengt, eine $1\frac{1}{4}$ Zoll breite, $\frac{1}{2}$ Zoll tiefe Rinne war in Form einer rechtsgewundenen Spirale gebildet worden. — Auch an trockenem Holze ist die Erscheinung bemerkt worden. Reimarus führt sie bei einem Mastbaume und dem Stiele einer Ofengabel an. Casselmann [2]) erzählt, dafs, als im Juli 1847 der Blitz den Leitungsdrath des elektrischen Telegraphen der Taunusbahn traf, zwischen Frankfurt und Höchst die aus Tannenholz bestehenden Stützen spiralförmige Verletzungen erhielten. Achtzehn Stangen waren in einer Spirallinie ausgesplittert, die mehrere Windungen machte; viele der übrigen Stangen waren von Ost nach Süd um ihre Axe gedreht, so dafs die Kappen auf ihrer Spitze, die früher den Eisenschienen der Bahn parallel lagen, damit einen Winkel bildeten. Baumgartner [3]) bemerkte eine ähnliche spiralförmige Aussplitterung an, vom Blitze getroffenen, Telegraphenpfählen aus Lärchenholz, nahm dies aber für eine der Elektricität fremde Erscheinung, da jenes Holz sich beim Trocknen spiralförmig drehte. Früher war auch Reimarus [4]) geneigt, die spiralförmigen Verletzungen von der Richtung der Fasern im Holze herzuleiten, stand aber von dieser Meinung ab, weil sich jene Richtung nicht nachweisen liefs, die Erscheinung bei verschiedenen Holzarten eintritt, nicht immer bei derselben Art stattfindet und endlich, weil von Scheuchzer Beispiele von schraubenförmigen Spuren des Blitzes an Metallstücken angeführt werden. Freilich gesteht Reimarus, dafs diese Beispiele noch der Bestätigung bedürfen. Auch neuerdings hat man spiralförmige Spuren an einem vom Blitze getroffenen Drathseile bemerken wollen [5]).

[1]) Poggend. Ann.* 81. 578. [2]) Poggend. Ann.* 78. 611. [3]) Poggend. Ann.* 76. 142. [4]) Vom Blitze.* 17. [5]) Biot Experimentalphys.* 2. 810

Magnetisirung durch den Blitz.

1073 Die Mifsweisung der Bussolnadeln auf Schiffen, die vom Blitze getroffen wurden, und das Magnetischwerden von Eisenstücken durch den Blitz ist früher erwähnt worden (§. 517.). Beide Wirkungen des Blitzes werden den Seefahrenden gefährlich, denn nicht allein, dafs sie dem Compasse nicht mehr trauen dürfen, so ändern auch die zur Bestimmung der Länge nöthigen Chronometer nach einem Blitzschlage häufig ihren Gang, indem die Stahltheile an ihnen magnetisch geworden sind. Arago [1]) führt einen Fall an, wo ein Chronometer auf einem vom Blitze getroffenen Schiffe, bei der Ankunft in Liverpool, 33 Minuten 58 Sekunden mehr zeigte, als es ohne diesen Unfall gethan haben würde. Magnetisirungen durch den Blitz sind sehr oft beschrieben, von welchen indefs viele Fälle wahrscheinlich nicht hieher gehören. Alle eisernen Werkzeuge besitzen einen schwachen Magnetismus, der nach einem Unfalle häufig zum erstenmal bemerkt wird. Auch der durch den Blitz erregte Magnetismus ist in vielen Fällen nur der Erschütterung beizumessen, wie ich bei der Magnetisirung durch künstliche Elektricität gezeigt habe (§. 517.). Scoresby [2]) fand auf einem im Mai 1827 zweimal vom Blitze getroffenen Schiffe Nägel und Klammern, Messer, Gabeln und die Stahlspitzen der Mefsinstrumente stark magnetisch. Im Mai 1843 traf der Blitz im Golf von Guinea [3]) den Ableiter eines Schiffes, und schmelzte die Platinspitze desselben. Der Lieutenant Leps fand 2 Messer in der Cajüte so stark magnetisirt, dafs Nähnadeln an ihnen hangen blieben. Die fünf Bussolen des Schiffes waren unbrauchbar geworden, und selbst eine neue Bussole wies falsch, da viele Eisentheile des Schiffes magnetisch geworden waren. In neuerer Zeit wird bei den elektrischen Telegraphen die Magnetisirung durch den Blitz und die ihm vorangehende starke Luftelektricität, zum Nachtheile des Dienstes, häufig merklich. Die Zeigertelegraphen, und bei allen Telegraphen die Signal-

[1]) *Annuaire* 1838.* 346.
[2]) *Annuaire* 1838.* 345.
[3]) *Compt. rend.* 1843. 2. *sem.** 262.

glocken, werden dadurch in Bewegung gesetzt, daſs ein mit [1073] Drath umwundenes Hufeisen durch eine voltaische Batterie magnetisirt wird. Bei Gewitterluft tritt diese Magnetisirung oft ohne die Batterie ein. So erzählt Breguet[1]), daſs im Mai 1847 die Signalglocke im Telegraphenzimmer zu St. Germain ertönte und der Telegraph zu spielen anfing. Er wollte so eben zurücktelegraphiren, daſs er die Zeichen nicht verstehe, als die Leitungsdräthe mit einem Knalle, gleich einem Pistolenschusse, abschmolzen. Ungefähr 600 Schritte von dem Beobachtungszimmer hatte der Blitz einen Tragepfahl zerschmettert. Baumgartner berichtet[2]), daſs auf der, von Wien gegen Süden geführten, Telegraphenlinie die Indicatoren (nach Art des Multiplicators mit einem Drathgewinde umgebene, nicht sehr empfindliche Magnetnadeln) sich während eines Gewitters bewegen und danach eine Veränderung ihres Magnetismus zeigen. Die Indicatoren wurden zuweilen während einer Nacht völlig unbrauchbar, ohne daſs ein anderer Grund, als die Luftelektricität, anzugeben gewesen wäre.

Chemische Wirkung des Blitzes.

1074 An dem Orte, wo der Blitz einschlägt, wird ein eigenthümlicher Geruch bemerkt, den man gewöhnlich als Schwefelgeruch bezeichnet findet. Man hat sogar concreten Schwefel finden wollen, den der Blitz aus der Wolke herabgebracht habe. So schlug der Blitz am 24. August 1760 in das Schloſs zu Upsala[3]); die vergoldeten Rahmen der Gemälde liefen schwarz an; man fand an dem Fuſsboden eine Substanz wie Schwefelblumen, und spürte einen starken Schwefel- und Knoblauchsgeruch. Bonjean[4]) berichtet von einem Blitze, der am 14. Juni 1846 in der Kirche von St. Thibaud-de-Couz den vergoldeten Rahmen eines Gemäldes und 6 vergoldete Kupferleuchter schwärzte. Die schwarzen Stellen wurden abgekratzt und die chemische Prüfung lieſs darin Schwefel erkennen. Fusinieri[5]) giebt an, daſs der Blitz Schwefel

[1]) *Compt. rend.** 24. 981. [2]) Poggendorff Annal.* 76. 137. [3]) Reimarus vom Blitze.* 64. [4]) *Compt. rend.** 23. 153. [5]) *Bibliothèque universelle.** 48. 371 et 49. 1.

[1074] und Eisen mit sich führe und an die von ihm getroffenen Gegenstände absetze, dafs er an Mauerwerk und Bäumen gelbe Spuren hinterlasse, die nach Schwefelwasserstoff röchen. Diese Beobachtungen sind zu unsicher, um den daraus gezogenen, an sich sehr unwahrscheinlichen, Schlufs auf Schwefel zu gestatten, den der Blitz mit sich führe. Der dem Blitze eigene Geruch ist sicher derselbe, der bei den Funken der Elektrisirmaschine bemerkt wird, und hat mit dem Schwefelgeruche nur das Stechende gemein, wie es Raschig, Jungnitz[1]) und besonders Boussingault[2]) nach mehrfacher Erfahrung behaupten. Dieser Geruch ist eine Folge der chemischen Aenderung der atmosphärischen Luft durch den Blitz, wie ich bei dem Ozon angeführt habe (§. 595.), und tritt nicht erst an der Stelle ein, wo der Blitz einen irdischen Gegenstand trifft, sondern in der ganzen Luftstrecke, die jener durchläuft. Der Geruch kann daher weit in der Atmosphäre verbreitet sein. Schönbein[3]) erzählt, dafs, als der Blitz 150 Schritte von seinem Hause einschlug, das ganze Haus von einem stechenden Qualme erfüllt wurde, der mehrere Stunden anhielt; noch nach sechs Stunden habe er diesen Geruch, der dem des Phosphors und der schwefligen Säure glich, in einem die Zeit über verschlossenen Zimmer bemerkt. Der durch die Luft schlagende elektrische Funke erzeugt daselbst Salpetersäure (§. 594.), die muthmafslich auch bei Gewittern entsteht. Wirklich fand Liebig[4]) in 17, nach Gewitterregen gesammelten, Wassermengen Salpetersäure vor, während in 60 anderen Regenwassern nur zweimal Spuren davon entdeckt wurden. Barral[5]) hat in allen Regenwassern, die während der einzelnen Monate des zweiten Halbjahres 1851 in Paris aufgefangen wurden, Salpetersäure gefunden und dem Gewichte nach bestimmt. Der Regen des Septembers enthielt den gröfsten Antheil an Salpetersäure, nämlich, für 1 Cubicmeter Wasser berechnet, 36½ Gramm, also in 2134 preufs. Pfunden Wasser nur 2½ Loth Salpetersäure.

---

[1]) Kämtz Meteorolog.* 2. 441. [2]) *Compt. rend.** 22. 219. [3]) Ueber Erzeugung d. Ozons. Bas. 1844.* 22. [4]) Berzelius Jahresbericht 8ter Jahrgang.* 284. [5]) *Compt. rend.** 34. 829.

Physiologische Wirkung des Blitzes.

Dafs die dynamische Wirkung des Blitzes auf den lebenden thierischen Körper sehr heftig sein kann, läfst sich nur aus dem Tode von getroffenen Menschen und Thieren schliefsen, den der Blitzschlag häufig zur Folge hat, ohne dafs die sichtbaren Verletzungen irgend von Bedeutung wären. Diese Verletzungen beschränken sich zumeist auf versengte Haare und Hautstellen, mit Blut unterlaufene Streifen, oberflächliche Fleischwunden, während die inneren Theile des getödteten Körpers unverletzt geblieben sind[1]). Die vom Blitze nicht tödtlich getroffenen Menschen wissen sich gewöhnlich keiner besonderen Empfindung zu entsinnen, sie sind bewufstlos zusammengesunken, ohne Blitz oder Knall bemerkt zu haben. Schwerhörigkeit, krampfhafte Zufälle, Bewegungslosigkeit der Extremitäten folgen zuweilen dem Blitzschlage auf Menschen, verlieren sich aber in einiger Zeit. Die elektrische Erschütterung wird zuweilen von Personen empfunden, die sich in der Nähe des einschlagenden Blitzes befinden. Die folgende, von Hemmer gegebene, Erzählung zeigt die unerheblichen Folgen eines Blitzstrahls, wie sie glücklicherweise nicht selten vorkommen. Ein Soldat wurde am 30. Juni 1788 in der Nähe von Mannheim vom Regen überrascht und stellte sich unter einen Baum, unter dem bereits eine Frau stand. Er blickte in die Höhe, um zu sehen, ob die Zweige dicht genug wären, ihn vor dem Regen zu schützen, als er von einem Blitze bewufstlos niedergeworfen wurde, der die Frau leicht am Fufse verletzte, ohne sie umzuwerfen. Der Soldat erwachte erst nach einigen Stunden von der Betäubung, wufste aber von dem Vorgange nichts weiter, als dafs er nach den Aesten des Baumes gesehen hatte. Dafs er wirklich von dem Blitze getroffen worden war, zeigten die Verletzungen an seinem Körper. Die Haare an dem Genicke waren fortgebrannt, aus dem linken Ohre lief Blut, an dem Halse war eine Fleischwunde, auf beiden Armen waren rothe Streifen und an den Händen schmerzhafte Verletzungen sichtbar. Der Getroffene klagte

1075

[1]) Reimarus vom Blitze* 154 flg. Neuere Bemerkungen* 119 flg.

[1075] über Lähmung der Hände, schweres Athemholen und Taubheit, wurde indefs in 11 Tagen von diesen Beschwerden geheilt. Raschig [1]) hat durch einen Versuch erläutert, wie eben die sehr grofse elektrische Dichtigkeit im Blitze der Grund sei, dafs der Blitz so oft mit geringer Wirkung über die Oberfläche des thierischen Körpers fortgeht. Eine Eidechse wurde, ihrer ganzen Länge nach in den Schliefsungsbogen einer stark geladenen leydener Flasche von 1 Quadratfufs Belegung eingeschaltet, durch den Entladungsschlag nur betäubt, so dafs sie sich nach einigen Minuten wieder erholte. Der Entladungsfunke war dabei glänzend und mit starkem Knalle über die Oberfläche des Thieres gegangen. War hingegen die Flasche mit einer geringeren Elektricitätsmenge geladen, so erfolgte die Entladung mit rothem Funken und dumpfem Schalle, und das Thier wurde getödtet. Nach Van Marums Meinung [2]) erfolgt der Tod bei den vom Blitz erschlagenen Geschöpfen durch vernichtete Reizbarkeit des Herzens und der Hauptschlagadern, indem dadurch der Umlauf des Blutes plötzlich gehemmt wird. Er tödtete durch seine grofse Batterie von 550 Quadratfufs Belegung Aale und andere Thiere. Aale können mehrere Stunden, nachdem sie durch Abschneiden des Kopfes getödtet wurden, durch Stechen mit einer Nadel, Aetzen mit kaustischem Kali oder durch den elektrischen Funken zu Zuckungen gebracht werden. Die durch die elektrische Entladung getödteten Aale verloren dagegen diese Reizbarkeit sogleich in den Theilen des Körpers, durch die der elektrische Schlag geleitet worden war. Waren zum Beispiel der Kopf und drei Viertel des Körpers eines Aales in den Schliefsungsbogen eingeschaltet, so hatte, nach der Tödtung des Thieres durch den Schlag, der Schwanz die Reizbarkeit behalten, der eingeschaltete Theil verloren. Franklin hat beobachtet [3]), dafs durch elektrische Schläge getödtete Thiere schnell in Fäulnifs übergehen. Es wird angegeben, dafs das Blut der vom Blitz Erschlagenen flüssig bleibt,

---

[1]) Gilbert Annalen* 31. 204

[2]) Gren Journ. d. Physik* 6. 39. V. Marum Beschreib. ein. Elektr.-masch.* 2. Forts. 49.

[3]) Humboldt Gereizte Muskel und Nervenfaser* 1. 462.

[1075] keine Todtenstarre des Körpers, die Fäulnifs aber schneller als gewöhnlich eintritt [1]). Doch finden sich auch Dem widersprechende Angaben. Jordan hat die Todtenstarre an einem vom Blitz Erschlagenen bemerkt [2]). Brydone [3]) erzählt, dafs an einem vom Blitze Getödteten nach zwei Tagen keine Spur von Fäulnifs bemerkt worden sei.

Sicherung vor dem Blitze. Der Blitzableiter.

1076 Der erste Vorschlag Franklin's, den Verheerungen des Blitzes Einhalt zu thun, ging über das Erreichbare hinaus und beabsichtigte, dafs der Ausbruch des Blitzes verhindert, das Gewitter über dem geschützten Orte zum Schweigen gebracht werden sollte. Eine nicht isolirte Spitze entzieht einem elektrisirten Conductor, dem sie nahe steht, den gröfsten Theil seiner Elektricität (§. 250.). Franklin [4]) schlug 1749 vor, auf Gebäuden und Schiffen scharf zugespitzte Eisenstangen zu befestigen, die Spitze durch Vergoldung vor Rost zu bewahren, und durch einen Drath mit der Erde oder dem Wasser zu verbinden. Sollten nicht, fragt er, solche Spitzen den Wolken Elektricität entziehen können, ehe diese jenen so nahe kommen, um zu schlagen, und uns so vor dem fürchterlichen Unglücke des Blitzschlages schützen? Der Vorschlag blieb unberücksichtigt, weil damals die elektrische Natur des Blitzes noch nicht feststand, und Franklin erneute ihn 1753 mit den Worten: Hinreichend dicke, von dem höchsten Theile eines Gebäudes zu dem Erdboden geführte Metallstangen werden, wie ich glaube, das Gebäude vor Schaden schützen, indem sie entweder das elektrische Gleichgewicht (zwischen Erde und Wolke) so schnell herstellen, um den Blitz zu verhüten, oder indem sie diesen in der Substanz der Metallstange so weit leiten, als die Stange reicht, so dafs die Explosion nur zwischen der Wolke und der Spitze der Stange stattfin-

---

[1]) Burdach Physiol. Leipz. 1830.* B. 3. §. 635 u. 36. [2]) Du Bois Untersuchungen über thierische Elektricit.* II_1. 160. [3]) *Philos. transact.* 1787. 61 — *abridg.** 16. 187. [4]) *Exper. and observ.** 65.

[1076] det[1]). Diese zwiefache Bestimmung der Metallstange wird dann weiter ausgeführt. Nachdem durch einen Versuch mit der elektrischen Batterie bestimmt ist, dafs eine $\frac{1}{4}$ Zoll dicke Stange genüge, die Elektricität des stärksten Blitzes in ihrer Masse zu leiten, ohne zerstört zu werden, erläutert Franklin den Nutzen der Zuspitzung der Stange durch einen Versuch. Man verbinde zwei oder drei Flocken loser Baumwolle durch Fäden mit einander, und befestige einen dieser Flocken an dem Conductor einer Elektrisirmaschine. Wenn diese wirkt, werden sich die Flocken von einander entfernen und nach dem nächsten Leiter hin streben, hingegen nach dem Conductor zurückziehen, wenn eine feine Nadel dem untersten Flocken genähert wird. In ähnlicher Weise möchten die kleinen Wolken, die mit der Haupt-Gewitterwolke zusammenhangen, sich gegen die Erde bewegen und die Bahn des Blitzes bestimmen, und in gleicher Weise könnten sie durch eine zugespitzte Metallstange zum Zurückziehen gezwungen werden. In Philadelphia wurden seitdem viele Häuser mit den empfohlenen Metallstangen, den Blitzableitern, versehen, und es traf sich, dafs ein Blitz, der auf einen solchen Ableiter fiel, zwar den zur Erde geführten Drath schmelzte, aber das Gebäude unversehrt liefs. Obgleich Winkler[2]) schon 1753 die Blitzableiter in Deutschland dringend anempfahl, und Watson[3]) 1762 die Art angab, wie sie an Schiffen anzubringen seien, auch anrieth, das Pulvermagazin in Purfleet damit zu versehen, fand es Franklin[4]) nöthig, im Jahre 1767, als er Gesandter in Paris war, noch Einmal auf seine Erfindung aufmerksam zu machen. Dennoch dauerte es noch eine geraume Zeit, ehe die alte Welt sich das Mittel aneignete, das die neue schon seit lange mit grofsem Nutzen gebraucht hatte. Nollet, der damals eines Ansehens als Physiker genofs, für das seine Schriften keinen genügenden Grund liefern, hatte sich entschieden gegen die Blitzableiter erklärt[5]). Er verwarf die Ableiter als nutzlos, ja sogar als gefährlich, da sie den Blitz anzögen, statt davor zu schützen, und gab den

---

[1]) *Experim. and observ.** 132. [2]) *De avertendi fulmin. artificio.** *Lips.* 1753. [3]) *Philos. transact.* 1762. 629 — *abridg.** 11. 660. [4]) *Experim. and observ.** 497. [5]) *Lettres sur l'électr.* *Phil. transact.* — *abridg.** 10. 374.

naiven Rath, es blitzen und donnern zu lassen, wie man es [1076] regnen lasse [1]). Man könnte daraus schliefsen, dafs der Regenschirm damals in Frankreich unbekannt gewesen sei. Hauptsächlich aber scheint die Einführung der Blitzableiter verzögert worden zu sein durch die religiösen Zweifel, ob nicht, Gottes Blitze abzuleiten, ebenso sündlich sei, als wenn ein Kind sich der strafenden Hand des Vaters entzöge. Es scheint, dafs man die Beschützung der Kirchen habe abwarten wollen. Nachdem 1769 ein Kirchthurm in Deutschland (der Jacobithurm in Hamburg) mit einem Ableiter versehen war, und in demselben Jahre die *royal society* eine Commission ernannte, um die Paulskirche in London zu schützen [2]), wurden in Europa die Wetterstangen allgemein.

1077 Zahlreiche Blitzschläge, von welchen einige, wie der auf den Thurm zu Siena 1777 [3]), nicht beweisender gewünscht werden konnten, hatten die Nützlichkeit der Blitzableiter gezeigt, als die Frage über die beste Form aufgeworfen wurde, die den Ableitern zu geben sei, hauptsächlich, ob sie oben spitzig oder kugelförmig endigen sollten. Wilson [4]) hatte schon früher abgerathen, den Blitz durch aufgerichtete Stangen einzuladen, und vorgeschlagen, die Metalltheile an der Aufsenseite eines Hauses ganz zu vermeiden, und innen unter dem Dache abgerundete Metallstangen anzubringen und leitend mit der Erde zu verbinden. Als er im Jahre 1772 Mitglied einer Commission war, um das Pulvermagazin zu Purfleet mit Blitzableitern zu versehen, protestirte er gegen die Meinung der übrigen Mitglieder Franklin, Cavendish, Watson und Robertson, welche die Ableiter mit einer möglichst scharfen Spitze versehen wollten [5]), und suchte seinen Protest in einem langen Aufsatze zu begründen, den die Genannten durch den einfachen Ausspruch würdigten, dafs dadurch ihre Meinung über die Zuspitzung der Ableiter nicht geändert worden sei. Die Gebäude wurden mit spitzigen Ableitern versehen. Es traf sich, dafs eines jener Gebäude am 15. Mai 1777 vom

---

[1]) *Mém. de l'acad. Par.* 1764. 440. — *id. in* - 12.* 726. [2]) *Phil. transact.* 1769. 160. — *abridg.** 12. 620. [3]) Reimarus v. Blitze* 388. [4]) *Phil. transact.* 1764. 247. — *abridg.** 12. 148. [5]) *Philosoph. transact.* 1773. 42. — *abridg.** 13. 374.

[1077] Blitze getroffen wurde, der, ohne die 10 Fuſs hohe Auffangstange des Ableiters zu berühren, auf eine Eisenklammer an der Ecke des Gebäudes fiel und zur Erde ging, nachdem er unerheblichen Schaden an dem Mauerwerke angerichtet hatte. Der zuerst getroffene Theil des Hauses lag 46 Fuſs von der Spitze der Auffangstange entfernt, wodurch Wilson's Meinung von der Gefährlichkeit der spitzigen Stangen widerlegt wurde. Weit entfernt, dies einzugestehen, erinnerte Wilson an seinen früheren Protest, und insinuirte nicht ungeschickt, daſs auch des Königs Wohnung (Georg des Dritten von England) mit einer gefährlichen spitzigen Stange versehen sei. Dies hatte zur Folge, daſs ihm die Mittel gewährt wurden, eine ebenso kostbare als unnütze Reihe von Versuchen im November 1777 anzustellen, bei welchen der König zugegen war [1]). Ein 155 Fuſs langer, 16 Zoll breiter, aus Trommeln zusammengesetzter und mit Zinnfolie überzogener Cylinder wurde in dem Pantheon zu London an Seidenschnüren aufgehängt, und an einem Ende mit einem 4800 Fuſs langen, hin und hergezogenen, Drathe verbunden. Dieser ganze Leiter sollte die Gewitterwolke vorstellen und wurde durch eine Elektrisirmaschine geladen. Unter dem freien Ende des Cylinders war ein Geleise angebracht, auf dem ein genaues Modell des in Purfleet getroffenen Hauses mit verschiedener Geschwindigkeit fortbewegt wurde. Auf dem Hause befand sich ein kurzer Metallstift, der entweder mit einer Spitze oder einer Kugel endigte, so daſs in jedem Falle der kleinste Zwischenraum zwischen dem Ende des Stiftes und dem Conductor gleich war und etwas über 4 Zolle betrug. Der Conductor wurde geladen, und das Haus durch ein Gewicht in Bewegung gesetzt. Bei Anwendung der Spitze und einer schwachen Ladung des Conductors wurde dieser ohne Funken zum Theil entladen, bei starker Ladung aber mit einem Funken, der durch eine Luftstrecke von 5 Zollen auf die Spitze schlug. Bei Anwendung der Kugel entstand in keinem Falle ein Funke, und der Conductor behielt den gröſsten Theil seiner Elektricität. Als die Länge des Stiftes auf dem Hause verringert wurde, behielt

[1]) *Philos. transact.* 1778. — *abridg.** 14. 337.

der Conductor seine volle Ladung, obgleich das Haus unter [1077] ihm fortbewegt wurde. — Die nordamerikanischen Kolonieen hatten sich ein Jahr vor der Anstellung dieser Versuche für unabhängig erklärt, und Wilson hatte leichtes Spiel, den König von der Gefährlichkeit der Erfindung eines Rebellen zu überzeugen. Die Spitzen der Ableiter am Buckinghamhause im Parke zu St. James wurden freilich mit Kugeln vertauscht, aber die Commission der *royal society*, zu der Cavendish, Watson, Mahon, Nairne, Henley und Priestley gehörten, entschied mit Recht, dafs Wilson's Versuche Nichts über den Vorzug der zugerundeten niedrigen Ableiter vor den zugespitzten entschieden, und rieth, die Metalltheile der Gebäude zu Purfleet unter einander und mit der Auffangstange zu verbinden, die 10 Fufs über das Dach ragend und so scharf als möglich zugespitzt sein sollte. Das Sicherste sei, ein Haus mit Blei zu decken, und auf dem höchsten Theile des Daches den spitzigen Ableiter anzubringen.

1078 Nairne [1]) suchte den Vorzug der spitzigen Ableiter vor den stumpfen durch einfache Versuche an einer Elektrisirmaschine augenfällig zu machen. Eine scharfe Spitze entzog dem geladenen Conductor die Elektricität in viel gröfserer Entfernung, als eine Kugel von kleinem Durchmesser, und wenn die Spitze zuweilen vom Conductor einen Funken empfing, so geschah dies immer in geringerer Entfernung von jenem, als wenn eine Kugel gebraucht wurde. So schlug ein Funke in der Entfernung von 10,3 Zoll auf eine Spitze, in der Entfernung von 10,8 Zoll auf eine Kugel von 0,3 Zoll Durchmesser, aber in der Entfernung von 15 bis 16 Zoll auf eine Kugel von 1,3 Zoll Durchmesser. Ein anderer Versuch, in welchem ein, nach Art eines Wagebalkens, beweglicher Stab, der an dem Conductor anlag, sich zu einer darunter gestellten Kugel neigte, aber bei genäherter Spitze seine horizontale Lage behielt, war bereits von Franklin [2]) bei seinem ersten Vorschlage des Blitzableiters angeführt worden. Musgrave [3]) erklärte den Widerspruch in den Versuchen von Wilson und Nairne

---

[1]) *Philos. transact.* 1778. 823. — *abridg.** 14. 427.
[2]) *Exper. and observ.** 63.
[3]) *Philos. transact.* 1778. 801. — *abridg.** 14. 440.

[1078] damit, dafs eine Spitze nur die Fähigkeit besitze, eine Elektricitätsmenge von geringer Dichtigkeit aus der Ferne ohne Funken abzuleiten. Eine dem Conductor nahegestellte Spitze verhindert, dafs der Conductor durch die Maschine stark geladen wird, weil jene die wenig dichte Elektricität fortwährend ableitet, die dem Conductor von der Scheibe gegeben wird. Nähert man eine Spitze einem stark geladenen Conductor, so leitet sie seine Elektricität ab, ehe sie in die, der Dichtigkeit des Conductors entsprechende, Schlagweite kommt, und vermindert dadurch die Schlagweite, so dafs sie dem Conductor immer näher gebracht werden kann, ohne einen Funken zu erhalten. Stellt man hingegen neben dem Conductor, und von ihm durch eine Lücke getrennt, einen zweiten Leiter auf, und bringt in die Nähe des letzteren eine Spitze, so wird, wenn der erste Conductor dem zweiten einen Funken giebt, ein Funke auf die Spitze schlagen, und zwar aus gröfserer Entfernung, als auf eine Kugel. Hier erhält der zweite Conductor plötzlich seine ganze Ladung, die nicht von der Spitze abgeleitet werden kann. Musgrave erklärt sich gegen die spitzigen Ableiter, die nur in den seltensten Fällen nützen könnten, dagegen, wenn eine stark geladene Wetterwolke mit grofser Schnelligkeit über ein Haus fortzieht, den Blitzschlag schon in solcher Entfernung veranlassen würden, in welcher eine stumpfe Endigung des Ableiters es nicht thun würde. Versuche an der Batterie, in welchen der Entladungsfunke zwischen Kugeln oder Spitzen überging, wurden von Henley [1]) zu Gunsten der spitzigen Ableiter, von Wilson [2]) zu Gunsten der abgestumpften angestellt. — Die Streitfrage über die beste Form des Blitzableiters, die weder mit gehöriger Schärfe gestellt, noch mit gehöriger Unbefangenheit behandelt worden ist, concentrirt sich in die Frage über die Gefährlichkeit der spitzigen Ableiter. Sind diese Ableiter für das Haus ohne Gefahr, so ist, nach allen Erfahrungen über die Wirkung von Spitzen in der Nähe elektrisirter Leiter, ein spitziger Ableiter nützlicher, als ein stumpfer, da er die Luftelektricität durch

---

[1]) *Philos. transact.* 1774. 133. — *abridg.** 13. 512.
[2]) *Philos. transact.* 1778. 949. — *abridg.** 14. 458.

Entgegenströmen von entgegengesetzter Elektricität schwächen, [1078] und einen aus der Nähe drohenden Blitzschlag auf sich leiten muſs. Die Erfahrung hat längst darüber entschieden, daſs Häuser mit spitzigen Ableitern keineswegs öfter vom Blitze getroffen werden, als ungeschützte. Ingenhousz [1]) führt im Gegentheile Fälle an, wo Gebäude, nachdem sie einen spitzigen Ableiter erhalten hatten, weniger Blitzschläge erfuhren, als zuvor. So wurde eine Kirche bei Charlestown in Südcarolina alle 2 bis 3 Jahre vom Blitze getroffen, aber gar nicht in 14 Jahren, nachdem sie mit einem Ableiter versehen war. Eine Kirche auf den Lusciariberg in Kärnthen war mit Blech gedeckt und wurde so oft vom Blitze getroffen, daſs sie im Sommer geschlossen wurde. Im Jahre 1780 wurde der Thurm dieser Kirche mit einem dreispitzigen Ableiter versehen, und in den folgenden 3 Jahren nur zweimal, und zwar ohne Beschädigung vom Blitze getroffen. Unter vielen Ableitern, die Ingenhousz auf Gebäuden errichtete, wurde nur ein einziger vom Blitze getroffen. Der Leuchtthurm und eine Kirche in Genua, die häufige Blitzschläge erlitten hatten, wurden von dem Blitze verschont, seit sie einen Ableiter erhalten hatten.

1079 Kaum waren die spitzigen Ableiter von dem Vorwurfe befreit, daſs sie die Wetterwolke auf das Haus herabzögen, dem diese sonst unschädlich vorübergezogen wäre, so machte man ihnen den entgegengesetzten Vorwurf, daſs sie den Blitz nur aus geringer Entfernung auf sich leiteten, also nur einen kleinen Umkreis um sich her beschützten. Dieser Vorwurf war begründeter, als der erste, denn viele Fälle zeigen, wie der Blitzschlag zu Purfleet (§. 1077.), daſs der Blitz, in geringer Entfernung von der spitzigen Auffangstange, auf eine scharfe Ecke oder Kante eines Hauses fallen kann, an der sich ein Metallstück befindet. Die Frage, wie weit der Wirkungskreis eines Blitzableiters reiche, ist niemals sicher beantwortet worden, und kann es auch nicht. Man denke sich einen mit Kanten und Ecken versehenen Körper von 60 Fuſs Höhe, und darauf eine 10 Fuſs hohe Metallspitze, eine gegen ihn anrückende unregelmäſsige elektrisirte Wolke, und frage, welcher

[1]) Vermischte Schriften übers. v. Molitor. Wien 1784.* 1. 183.

[1079] Punkt jenes Körpers in jedem Augenblicke des Herannahens der Wolke durch Influenz die gröſste elektrische Dichtigkeit erlangen werde. Es ist eine völlig unbestimmte Aufgabe, die gelöst sein müſste, ehe man über den Wirkungskreis eines Ableiters entscheiden könnte. Die Erfahrungen über diesen Wirkungskreis sind, wegen der unregelmäſsigen Gestalt und Zusammensetzung der vom Blitze getroffenen Gebäude, sehr unbestimmt. Eine Commission der pariser Akademie, zu welcher Poisson, Dulong, Fresnel und Gay-Lussac gehörten [1]), nahm 1823 die Regel von Charles an, nach welcher eine Auffangstange um sich her einen Kreis beschützt, dessen Radius gleich dem doppelten ihrer Höhe ist. Mit Recht macht Arago [2]) auf das Unbestimmte dieser Regel aufmerksam, aus der man entweder schlieſsen kann, daſs der geschützte Kreis in der ganzen Höhe eines Gebäudes constant bleibt, oder daſs er an Gröſse zunimmt, je tiefer man kommt. Ist z. B. eine 10 Fuſs hohe Auffangstange auf der First eines Daches befestigt, so ist es ungewiſs, ob in einer 30 Fuſs unter der Spitze der Stange liegenden Horizontalebene der geschützte Kreis 20 oder 60 Fuſs Radius habe. Arago schlieſst aus einigen Blitzschlägen, daſs nur die erste Annahme sicher sei, so daſs der Radius des geschützten Kreises, in irgend einer Ebene unter dem Ableiter gemessen, nur auf die doppelte Höhe der Spitze der Auffangstange über ihrer Befestigung auf dem Dache zu berechnen sei. Hiernach würden, auch für Häuser von geringem Umfange, sehr hohe Auffangstangen oder mehrere niedrige Stangen nothwendig sein. Zum vollkommenen Schutze sollen die verticalen Stangen nicht ausreichen, sondern noch gegen den Horizont geneigte Metallstangen an vorspringenden Ecken des Hauses angebracht werden. Reimarus [3]) schlug den Nutzen der Auffangstangen nicht so hoch an, um deshalb die Kostbarkeit vieler Metallstangen, und den unerfreulichen Eindruck, den ein von Stacheln starrendes Haus machen würde, unberücksichtigt zu lassen. Daſs bei schnell heranziehenden Wetterwolken die neutralisirende Wirkung der Auffangstangen von geringem Be-

---

[1]) Poggend. Annal.* 1. 416.
[2]) *Annuaire* 1838.* 572.
[3]) Neuere Bemerkungen* 255 flg.

lange ist, wird daraus geschlossen, daſs Elmsfeuer auf den [1079] Spitzen der Ableiter zu den sehr seltenen Erscheinungen gehören. Bei der Dunkelheit, die einem ausbrechenden Gewitter vorhergeht, und bei Gewittern in der Nacht, müſsten die Ausströmungen von Elektricität immer sichtbar werden, wenn sie, die Luftelektricität in kurzer Zeit bedeutend zu verringern, im Stande wären. Der wesentlichste Nutzen der Auffangstangen besteht darin, daſs sie den aus der Nähe drohenden Blitz auf sich leiten, und dieses wird auch durch kurze Stangen erreicht. Reimarus setzt die Höhe der Stangen auf etwa 4 Fuſs über dem höchsten Theil eines Gebäudes, und verwirft die mehrfachen und gegen den Horizont geneigten Stangen.

Einrichtung der Blitzableiter an Gebäuden. 1080 Nach Reimarus [1]) wird ein Gebäude am sichersten geschützt, wenn man alle vorspringenden Kanten und Ecken desselben mit Metallstreifen bedeckt, die unter einander und mit einer guten Leitung zur Erde verbunden sind. Er empfiehlt zu diesem Zwecke Blei- oder Kupferstreifen von 3 bis 6 Zoll Breite. Auf dem höchsten Theile des Hauses und in Verbindung mit der übrigen Leitung soll eine $\frac{3}{4}$ bis 1 Zoll dicke Metallstange mit Messingspitze vertical errichtet werden, die den höchsten Schornstein 3 bis 5 Fuſs überragt; das untere Ende der Leitung soll in ein offenes Wasser geführt werden, wenn es auch nur ein Rinnstein wäre, nicht aber in ein bedecktes Wasser oder in den trockenen Boden. Wo kein Wasser in der Nähe ist, soll man, wofür der Grund nicht klar ist, die Leitung, 1 Fuſs von dem Gemäuer des Hauses entfernt, die Oberfläche der Erde berühren lassen. Die französische Commission von 1823 hat folgende Beschreibung eines guten Blitzableiters gegeben [2]). Als Auffangstange dient eine quadratische, oben pyramidalisch zulaufende Eisenstange, auf die eine 20 Zoll lange Messingspitze aufgeschraubt ist. Die Stange ist 21 bis 30 Fuſs lang, und respective 24 bis 28 Lin. dick. Besser ist es, die Spitze aus Platin zu verfertigen. Die Ableitung besteht aus quadratischen Eisenstangen von 7 bis 8 Lin. Dicke,

[1]) Neuere Bemerkungen* 328 flg.
[2]) Poggend. Annal.* 1. 426.

[1080] die, in Gabeln von dem Mauerwerk entfernt gehalten, zur Erde geführt sind. Die unterste Stange geht 20 Zoll tief in den Boden, ist dann rechtwinklig umgebogen, und läuft 12 bis 15 F. horizontal, bis ihr Ende in einen Brunnen taucht. Damit das Eisen nicht roste, führt man die Stange in einen, mit gut geglühten zerstofsenen Kohlen gefüllten, Kanal bis zur Mauerung des Brunnens und von da in das Wasser, wo man sie 2 Fufs unter dem niedrigsten Wasserstande mit einigen Spitzen endigen läfst. Ist kein Brunnen in der Nähe, so läfst man die Leitung endigen in einem, in die Erde gegrabenen und mit gut geglühten Kohlen ausgefüllten, Loche von 15 Fufs Tiefe und gehöriger Weite. In trockenem Erdboden mufs das horizontale Ende der Leitung länger sein, als in feuchtem. Als Ersatz für die Eisenstangen, die durch ihre Aneinanderfügung und Befestigung gröfsere Kosten verursachen, werden Metallseile empfohlen, die aus 4 Strängen, von welchen jeder aus 15 Eisendräthen besteht, zusammengefügt und 7 bis 8 Linien dick sind. Jeder einzelne Strang und das ganze Seil wird mit Theer bestrichen. Macht die Gröfse eines Gebäudes mehrere Auffangstangen nöthig, so erhalten je zwei Stangen eine besondere Ableitung zur Erde, und die Befestigungen der Stangen auf dem Dache werden mit einander verbunden. — Es ist zu merken, dafs in der Nähe der Leitungen im Innern des Hauses eine Anhäufung von Metalltheilen zu vermeiden ist, die leicht zu einem gefährlichen Nebenstrome Anlafs geben kann. In der Nähe von Blitzableitern, die der Blitz in ganzer Länge durchlief, sind Beschädigungen vorgekommen [1]). Auch mufs die Leitung zur Erde in gerader Linie oder unter sehr stumpfen Winkeln geführt werden; bei einem scharfen Winkel sind die Wirkungen der Seitenentladung (§. 784.) zu fürchten, indem der Blitz von einem Schenkel zum andern durch die Luft übergehen uud Verwüstungen anrichten kann [2]).

1081 **Blitzableiter auf Schiffen.** Die Masten der Schiffe sind, als die hervorragendsten Gegenstände auf weiter Meeresfläche, den Blitzschlägen vorzüglich ausgesetzt, die bei dem

---

[1]) Gilbert Ann.* 50. 353.
[2]) *Annuaire* 1838.* 594.

häufig grofsen Pulvervorrathe, den die Schiffe mit sich führen, [1081] sehr gefährlich werden. Man hat sich lange Zeit hindurch auf Schiffen der tragbaren Ableiter bedient, die erst bei drohendem Gewitter auf dem Hauptmaste befestigt werden. Diese Ableiter waren in der englischen Marine Metallketten, die aus 2 Fufs langen, $\frac{1}{8}$ Zoll dicken, in Ringen aneinander gefügten Kupferstäben bestanden, bei der französischen Marine Metallseile, die aus gut geglühten Kupferdräthen geflochten waren. Tragbare Ableiter bieten aber manche Nachtheile; ihre Aufbringung auf den Mast zur Zeit eines Gewitters ist nicht ungefährlich, sie hindern das Schiffsmanöver, und gewähren dem Blitze keine genügende Leitung. Snow Harris schlug deshalb im Jahre 1822 feste Ableiter auf Schiffen vor, die jedoch, obgleich sie die Billigung eines Ausschusses der royal society erhielten, nur auf 13 Schiffen angebracht wurden, die sie vor Blitzschaden sicherten. Der Widerwille der Seeleute gegen diese, nach ihrer Meinung, fortwährenden Herausforderer des Blitzes, vielleicht auch die bedeutenden Kosten, die mit ihrer Einrichtung verknüpft waren, veranlafsten die englische Admiralität, im Jahre 1839 eine gemischte Commission niederzusetzen, zu welcher die Physiker Faraday, Wheatstone und Daniell gehörten, welche die Nützlichkeit der Harris'schen Ableiter prüfen sollten. Der Bericht dieser Commission [1]), nachdem er das Vorurtheil, dafs der Ableiter den Blitz auf das Schiff leitet, durch authentische Fälle entkräftet hat, spricht sich zu Gunsten der festen Ableiter aus. Die Leitung besteht aus zwei zusammengenieteten Kupferstreifen, der innere von $\frac{1}{16}$, der äufsere von $\frac{1}{8}$ Zoll Dicke, die den Masten und Spieren entlang befestigt sind, und ein ununterbrochenes Metallband von der Spitze der Masten zu dem Kiele des Schiffes bilden, wo sie mit dem Kupferbeschlage des Schiffes verbunden sind. Die Breite der Metallstreifen beträgt an dem Hauptmaste 4 Zoll, an den Nebenmasten 3 Zoll, an den Spieren $1\frac{1}{2}$ bis $2\frac{1}{2}$ Zoll. Auf der Spitze der Masten ist eine Kupferhaube angebracht, an der ein Kupferstab um eine Hespe beweglich ist, und gegen die verticalen Metallstreifen lehnt. Ueber

[1]) *Sturgeon annals of electr.** 5. 1.

[1081] die Führung des Leiters durch den Rumpf des Schiffes entstand ein Streit, der nur für den Schiffskundigen von Interesse ist. Es wäre freilich am besten, den Leiter von den niedrigsten Spieren sogleich zur Aufsenseite des Schiffes zu führen, ohne ihn in den Rumpf des Schiffes einzulassen, wenn nicht dadurch das Schiffsmanöver gehindert würde. Die vorgeschlagene Führung des Ableiters am Hauptmaste durch die Pulverkammer dürfte unbedingt zu verwerfen sein.

Viertes Kapitel.

Die Wettersäule oder Trombe.

1082 Eine schwache Wolke schwebt über dem Meere, diese faſst mit einem langen, feinen Finger in den unendlichen Ocean; aufwärts kocht, wirbelt und tanzt das emporgestörte Wasser, es pfeift und zischt; Nebel und Schaum ringsum, und Blitz ohne Donner; so rückt das Phantom, welches nicht Dunst und nicht Woge mehr ist, sprungweise vor, bis es plätschernd zerbricht. Mit diesen Worten beschreibt der Dichter das auf dem Meere unter dem Namen Wasserhose gefürchtete Meteor, das seltener auf dem Lande auftritt, und von den Alten als Typhon oder Prester, jetzt mit dem allgemeinen Namen Wettersäule oder Trombe bezeichnet wird. Das charakteristische Merkmal dieser Erscheinung ist ein kegelförmiger Wolkenzipfel, der mit seiner Spitze sich der Erde nähert, mit pendelnder Bewegung fortschreitet, und seinen Weg oft durch Verheerungen bezeichnet, welche die des Blitzes überbieten. Maxwell[1]) giebt aus häufiger Erfahrung die folgende allgemeine Beschreibung der Seetrombe. Aus einer dunkeln Wolke senkt

[1]) Gilbert Annalen* 73. 96.

sich ein kegelförmiges Stück zum Meere hinab, das darunter [1082] zu dampfen beginnt, und das Ansehen eines rauchenden Ofens annimmt. Der Wolkenzipfel sinkt immer tiefer, bis er die Oberfläche des Meeres erreicht, zieht sich dann in die Höhe und läfst eine durchsichtige Säule zurück, so dafs gegen das Ende der Erscheinung die Verbindung zwischen Wolke und Meer aus einer oben schwarzen, unten durchsichtigen Säule besteht. Am Fufse dieser Säule bildet sich ein Buschähnliches Wasserspiel, indem Wasserstrahlen divergirend in die Höhe spritzen. Berstet eine Wasserhose über einem Schiffe, so wird dies mit *süfsem* Wasser beschüttet. Gewöhnlich bildet sich die Trombe bei vollkommener Windstille ringsum; nachdem sie gebildet ist, entsteht ein wirbelnder Sturm, der von allen Seiten auf die Trombe zu gerichtet ist. So erzählt Franklin[1]), dafs drei Schiffe bei einer Windstille, etwa eine Seemeile von einander entfernt, in einem Dreiecke lagen, in dessen Mitte eine Trombe entstand, die jeder Schiffer unter dem sich erhebenden Winde erblickte. Forster[2]) sah mehrere Tromben zu gleicher Zeit, deren Wege einander öfter kreuzten, und bei deren Annäherung an das Schiff der Wind durch alle Striche der Bussole ging.

1083 Hätte man auch nicht die Tromben zuweilen leuchten und aus ihnen Blitze fahren sehen, so würden schon die übrigen Erscheinungen des Meteors darauf deuten, dafs hier eine Wirkung der atmosphärischen Elektricität vorliegt. Um so seltsamer erscheint es, dafs der Begründer der Lehre von der Luftelektricität die Entstehung der Trombe aërostatisch zu erklären suchte durch Aufsteigen von warmer Luft an einer Stelle und ein dadurch gebildetes Vacuum, und dafs in seinem, 1753 mit einem Ungenannten über diesen Gegenstand geführten, Briefwechsel der Elektricität keine Erwähnung geschieht[3]). Zu derselben Zeit suchte Beccaria[4]) den elektrischen Ursprung der Trombe durch Versuche zu beweisen, und Wilcke[5]) erklärte bald darauf die Erscheinung für einen elektrischen Bü-

---

[1]) *Experim. and observ.** 227. [2]) *Voyage round the world.* 1. 392. Reimarus v. Blitze.* 547. [3]) *Franklin exper. and observ.** 200, 224 *ff.* [4]) *Elettric. artif. e nat.* 1753. 206. *Priestley history of electr.** 378. [5]) *De electric. contrar.* 1757.* 142.

[1083] schel, der zwischen einer elektrisirten Wolke und der Erde entsteht. Brisson[1]), Becket und Cavallo[2]) suchten die Trombe im Kleinen nachzuahmen. Zwei Metallplatten wurden 2 Zoll von einander horizontal gelegt, die obere mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine, die untere mit der Erde verbunden; eine Metallkugel an der oberen Platte zog Wasser, das sich auf der unteren befand, in Kegelform in die Höhe. Um die wirbelnde Bewegung, in welche die Trombe aufgezogene Gegenstände versetzt, hervorzubringen, wurde Kleie auf die untere Platte gestreut, die zwischen den Platten zu einer Säule aufgezogen, und dann in einem Wirbel zerstreut wurde. In neuerer Zeit hat Hare[3]) die Trombe durch eine elektrisirte Luftsäule zu erklären versucht, die nebst den von der Erde aufgezogenen leichten Körpern, oder dem Wasser der See, eine Gewitterwolke continuirlich mit der Erde verbindet. Wenn bei dem Gewitter nur einzelne explosive Entladungen der Wolken stattfinden, so tritt hier eine fortdauernde Entladung derselben ein, wobei die aufsteigende Luft einen verdünnten Raum erzeugt, nach dem die Luft von allen Seiten zuströmt und einen Wirbelwind bildet. Am ausführlichsten hat sich Peltier[4]) mit den Tromben beschäftigt, und sie den bekannten Wirkungen der Elektricität zugeschrieben. Nach ihm ist die Trombe eine Gewitterwolke, durch einen unvollkommenen Leiter mit der Erde verbunden, und wird in folgender Weise gebildet. Eine Wolke, die sowol in ihren einzelnen Dampfbläschen, wie auf ihrer ganzen Oberfläche elektrisch ist, senkt sich, indem sie von dem Erdboden angezogen oder von einer über ihr stehenden gleichnamig elektrisirten Wolke abgestofsen wird. Der tiefste Theil der Wolke wird von der Elektricität ihrer Oberfläche zur Kegelform zusammengedrückt, und zugleich an ihrem untern Ende zu einer halbflüssigen Masse verdichtet. Diese Zusammendrückung von Wassertheilen durch eine sie umgebende elektrisirte Hülle hat Peltier durch Versuche zu erläutern gesucht. Ein Glastrichter mit feiner Oeffnung, die das hineingegossene Wasser

---

[1]) *Mém. de l'acad. Par.* 1767. — *éd. in* -12.* 818. [2]) *Compl. treatise** 1. 288. [3]) *Silliman journal v.* 32. *Sturgeon annals of el.** 2. 195. [4]) *Observations et recherches expér. s. les causes des trombes. Brux.* 1841.*

nur in Tropfen ausfliefsen liefs, wurde durch einen Kupferstreifen mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine verbunden. Als das Wasser im Trichter auf diese Weise elektrisirt war, strömte es in einem feinen Regen heraus. Wurde aber ein hohler Kupfercylinder von 4 Zoll Weite dicht unter die Oeffnung des Trichters gesetzt, und mit dem Wasser gleichnamig elektrisirt, so flofs das Wasser in einem einzigen unzertheilten Strahle aus. In einem andern Versuche flofs das Wasser aus dem Trichter in eine grofse Glaskugel, deren Aufsenfläche, mit Ausnahme zweier Stellen zur Durchsicht, mit Stanniol bekleidet war. So lange als diese Belegung nicht elektrisirt war, bildete das elektrisirte ausfliefsende Wasser einen feinen Regen, aber einen zusammenhängenden Strahl, wenn die Belegung und das Wasser gleichnamig elektrisirt wurden. — Der untere Theil der Trombenwolke ist durch seine Verdichtung ein besserer Leiter geworden, als die übrige Wolke, und zieht lose Theile des Erdbodens und, wenn er über Wasser steht, durch elektrische Einwirkung sehr vermehrte Wasserdämpfe in die Höhe. Hiermit ist die Trombe gebildet; die Elektricität der Wolke geht durch den herabhangenden Wolkenzipfel zur Erde, und erzeugt dabei ein eigenthümliches Rasseln. Das Fortschreiten der Trombe wird durch die Wirkung des elektrisirten Bodens erklärt, die drehende Bewegung des Meteors, das schraubenförmige Emporziehen von Dämpfen, Staub und Wasser, für eine hinzutretende Erscheinung genommen, die durch den ungleichen Widerstand der ruhenden Luft gegen den durch elektrische Anziehung erzeugten Luftstrom entsteht. Auch führt Peltier die Erfahrung an, dafs leichte, mit Spitzen versehene Körper durch elektrische Anziehung von einer grofsen Kugel eine Drehung zeigen. Die Wirkungen der Trombe werden theils der in der Wolke angesammelten ruhenden, theils der in Bewegung gesetzten Elektricität zugeschrieben. Zu der ersten Wirkung gehören: Anziehung und Abstofsung von Gegenständen auf der Erde, locale Beschädigung schlechter Leiter, ein Luftstrom gegen die Trombe hin, Erzeugung von Dämpfen auf dem Wasser, Eindrücken der Wasserfläche. [1083]

Zu den merkwürdigsten Wirkungen der Trombe gehört die Beschädigung der Bäume, die Martins in seiner Anwei- 1084

[1084] sung zur Beobachtung der Tromben [1]) besonders berücksichtigt hat. Dem Umstürzen der Bäume geht eine Hebung voran, so dafs man Bäume findet, die auf einer in die Höhe geschobenen Erdscholle festsitzen, und nur mehr oder weniger schief stehen. Ganz entwurzelte Bäume werden oft eine Strecke weit fortgeführt; so wurden durch die Trombe bei Malaunay 1845 vier Apfelbäume 105 Fufs weit getragen. Aufser den zerbrochenen Stämmen kommen auch gewundene vor; Martins sah eine Schwarzpappel 140 Grade um ihre Axe gedreht. Das Spalten der Bäume in sehr trockene Latten und Splitter, das unter den Wirkungen des Blitzes angeführt worden ist (§. 1071.), wird auch von der Trombe bewirkt. Die Spaltung der Stämme fängt gewöhnlich erst $1\frac{1}{2}$ Fufs über dem Boden an und erstreckt sich über Länge und Dicke eines Theiles des Stammes; die längste beobachtete Spaltung betrug 23 Fufs. Die in Latten gespaltenen Bäume sind abgebrochen, aber niemals entwurzelt, ihre Rinde ist innen aufgerissen, vertrocknet, und sitzt entweder noch am Stamme oder ist umher gestreut. Diese eigenthümliche Zerkleinerung des Holzes tritt nur an einigen Baumgattungen ein. Sie ist nicht an Coniferen bemerkt worden, die viel Harz zwischen Holz und Rinde besitzen. Am vollkommensten ist sie an Eichen (*quercus robur*) beobachtet worden, die in Latten von 8 Fufs Länge, an einigen Stellen von der Dicke eines Zündhölzchens zerschlitzt waren. An der Buche (*fagus sylvatica*) war die Spaltung gröber, aber von sehr grofser Länge (bis 23 Fufs). Aehnlich war die Spaltung der Ulme (*ormus campestris*) und der Esche (*fraxinus excelsior*). Bei den genannten Bäumen war die Spaltung den Markstrahlen des Holzes parallel, bei der Pappel (*populus nigra*) hingegen winkelrecht auf diesen Strahlen. Zugleich war die Spaltung bei der Pappel mit einer Drehung verbunden, so dafs ein solcher Stamm aus krummen, in einander gedrehten Leisten bestand. Die Espen (*populus tremula*) waren in so dünne Fasern zerschlitzt, dafs sie das Ansehen von Flachsbündeln darboten. Martins hebt es hervor, dafs er keinen Apfelbaum (*malus communis*) lattenförmig

---

[1]) Poggend. Ann.* 81. 444.

gespalten sah; die von der Trombe erreichten Apfelbäume [1084] waren einfach zerspalten, in Stücke gesprengt, abgebrochen. Ich schliefse die Beschreibung der Trombe, die noch mehr des Räthselhaften und zu Untersuchenden darbietet, als das Gewitter, mit einer von Peltier gegebenen chronologischen Zusammenstellung der bisher beobachteten Fälle dieses Meteors.

Seetromben.

1085

1.	Bei d. Ins. Quesomo	1664	Thévenot voy. d. Lev. 1674. 2. 359.
2.	- - - Celebes	30. Nov. 1687	Dampier voy. aut. d. monde ch. 16.
3.	- - - Kosiway	28. Dec. 1699	Dampier voy. nouv. Holl. ch. 3.
4.	Bei Neuguinea	12. April 1700	Dampier suite. nouv. Holl. ch. 4.
5.		24. März 1701	P. Gordon phil. trans. 22. 805.
6.	Mittel-Meer.	27. Aug. 1701	A. Stuart phil. trans. 23. 1077.
7.		29. April 1716	le Gentil voy. aut. d. monde 1. 133.
8.	Bei Serrelione	13. Nov. 1725	des Marchais voy. Guinée 1. 82.
9.		21. Mai 1732	Harris phil. trans. 38. 78.
10.	Mittel-Meer	1736	Shaw voy. en Barb. 2. 55.
11.	Genfer See	Oct. 1741	Jalabert mém. acad. Par. 1741. 20.
12.	Ebendas.	9. Juli 1742	ebendas. 1767. 412.
13.	Deeping Fen	5. Mai 1752	Ray phil. trans. 47. 477.
14.			Adanson voy. Senegal. 123.
15.	Antigoa		Franklin exp. observ. 5th. ed.* 241.
16.			ebendas. 227.
17.	Westindisch. Meer	Aug.; vor 1756	Melling transact. am. soc. 2. 335.
18.	Meerenge Gibraltar		Wakefield ebendas. 2. 335.
19.			Rowland ebendas.
20.	Meerenge Malacca		Spring ebendas.
21.	Westindisch. Meer	Juli 1756	Franklin exper. observ.* 263.
22.	bei Java	gegen 1760	le Gentil voy. mer d. Indes 2. 14.
23.	Küste Malabar		ebendas. 15.
24.	Penzance	28. Juli 1761	Borlaze phil. trans. 52. 507.
25.	Limay	23. Juni 1764	du Bourdieu Ac. de Par. 1764. 32.
26.	Meerenge Königin Charlotte	17. Mai 1773	Forster observ. s. diff. sujets 1778. 109.
27.	bei Nizza	12. April 1780	Michaud Rozier journ. de phys. 1787. 284.
28.	- Cuba	12. Juli 1782	Baussard journ. de phys. 1798. 346.
29.	Cap Vert	7. Sept. 1783	Isert voy. Guinée 9.

[1085]			
30.	Adriatisch. Meer	23. Aug. 1785	Spallanzani mem. della soc. d'Ital. 4. 473.
31.		24. Mai 1788	Buchanan Edinb. phil. journ. 5. 275.
32.	Nizza	6. Jan. 1789	Michaud mem. ac. Taurin. 9. 3.
33.	Nizza	6. Jan. 1789	ebendas.
34.	Ebendas.	19. März 1789	ebendas.
35.		8. Jan. 1789	Buchanan Edinb. phil. journ. 5. 275.
36.		12. April 1789	ebendas.
37.	Genfer See	1. Nov. 1793	Wild journ. phys. 41. 39.
38.	Teneriffa	22. Nov. 1796	Baussard journ phys. 46. 348.
39.	Finnländ. Meer	5. Aug. 1799	Wolke Gilbert Annal.* 10. 482.
40.	Mississippi	1800	Dunbar remarq. s. les vents.
41.	Atlant. Meer	2. Sept. 1804	Leymerie. Peltier tromb.* 258.
42.		6. Sept. 1814	Napier Edinb. journ. 6. 95.
43.	Indisch. Meer	26. Febr. 1817	Johnson voy. de l'Inde 12.
44.	Atlant. Meer	Mai 1820	Ogden amer. journ. f. 1836.
45.			Maxwell Edinb. phil. journ. 5. 39.
46.	Cap Blanc-Nez	1. Sept. 1822	Ann. de chim. et de phys. 21. 409.
47.	Roseneath	18. Sept. 1822	Smith Edinb. journ. 7. 331.
48.		19. März 1823	Biblioth. univers. 24. 136.
49.	Küste v. Florida	5. April 1825	Lincoln americ. journ. 1828. 171.
50.	I. Clermont-Tonnerre	Jan. 1826	Becchey voy. detr. Bering 1. 148.
51.	Genfer See	11. Aug. 1826	Mercanton bibl. univ. 36. 142.
52.	Neuchat. See	9. Juni 1830	Bibl. univ. 44. 218.
53.	Kanal Bahama	30. Juli 1832	Page Echo mond. sav. 1. 176.
54.	Jonisch. Meer	29. Juni 1832	
		1. Nov. 1832	Piancini Instit. physiques 3. 554.
55.	Genfer See	3. Dec. 1832	Wartmann bibl. univ. 51. 321.
56.	Mittel-Meer	1833	de Tessan descript. naut. Alg. 224.
57.	Küste v. Spanien		Page Echo mond. sav. 1. 176.
58.	bei Dover	23. Oct. 1836	ebend. 1836. N. 45.
59.	Fioul	15. Juni 1839	Bravais. Peltier tromb.* 134.
60.	Bai v. Killinay.	Juli 1839	Dickinson Athenaeum 14 mars 1840.

Bemerkungen.

1. Zwei von mehreren gleichzeitig vorhandenen Tromben kreuzen sich; ein Theil der herabsteigenden Säulen ist durchsichtig und zeigt heftig bewegte Dämpfe.
2. Mehrere Tromben, das Meer in kreisförmiger Bewegung; heftiger, scharf begrenzter Wind. Die Wolke, anfangs unbeweglich, schreitet später fort.
3. Blitz und Donner. Eine Wolke wird von der Trombe aufgehalten.
4. Trombe ohne Wolke.
5. Regelmäfsiger Wind, das Meer in Bewegung, Wasserstrahl.

6. Sechs oder sieben Tromben zu gleicher Zeit; die Dämpfe steigen gerade in die Höhe, wie Rauch. Geräusch und Bewegung hören nach einiger Zeit auf. [1085]
7. Dumpfes pfeifendes Geräusch. Leichter Wind. Absteigendes Wasser.
8. Vier Tromben entstehen aus demselben Gewölke, zwei davon aus demselben Wolkenzipfel. Drei andere Tromben: eine zwischen einer hohen Wolke und dem Meere, die zweite zwischen jener Wolke und einer niedriger stehenden, die dritte zwischen der letzten Wolke und dem Meere.
9. Windstille. Wasserstrahl unter dem Kegel.
12. Wasser steigt in Absätzen säulenförmig ohne Drehung in die Höhe.
13. Feuerstrahl im Augenblicke des Bruches der Trombe.
14. Eigenthümlicher Geruch. Die Basis des Kegels auf dem Wasser.
16. Windstille vorher, dann der Wind gegen die Trombe.
17. Die Trombe geht über das Schiff und beschüttet es mit süfsem Wasser.
21. Das Meer unter der Trombe eingedrückt, keine Bewegung von Wasser in der Trombe.
22. Doppeltrombe, die erste zwischen zwei Wolken, die zweite zwischen der ersten und dem Meere.
25. Vorher Donner. Vertiefung im Flusse, aufsteigendes Wasser, nach dem Bruche der Trombe Hagel.
26. Sechs Tromben, Windstille umher, Luftbewegung unter jeder Trombe. Wasser spiralförmig aufsteigend. Im Augenblicke des Bruches ein Blitz in der Trombe.
27. Die Trombe von Süd gegen Nord geneigt, obgleich sie mit dem Winde von Ost nach West geht. Wasser stofsweise aufsteigend. Durch einen Windstofs wird die Trombe büschelförmig getrennt, geht aber wieder zusammen.
28. Wolken bilden sich erst nach dem Erscheinen der Trombe; nachdem sie durch Kanonenschüsse gebrochen ist, Donner.
29. Kreisende Bewegung der Trombe.
30. Wirbelnde Wolke, Gewitter, Vertiefung des Meeres unter der Trombe.
31. Aufsteigender Dampf.
33. Schneefall, Trombe scharf begrenzt.
34. Donner, Schnee, freier Raum im Mittelpunkte der Bewegung unter der Trombe.
35. Trombe aus drei Wolkenzipfeln.
37. Schnee, der See unter der Trombe eingedrückt.
38. Keine Kreisbewegung, regelmäfsig aufsteigendes Wasser.
39. Schwefelgeruch. Wasser und Fische in die Höhe gehoben.
40. Trombe gegen den Horizont stark geneigt.
41. Trombe während 14 Stunden, in ihrer Mitte Lichterscheinung.
42. Spiralbewegung der Trombe, aufsteigendes Wasser; sie geht gegen den Wind; nachdem sie durch eine Kanonenkugel getrennt worden, schwanken die Zipfel einige Zeit und vereinigen sich wieder. Das auf das Schiff fallende Wasser war süfs.
45. Dampf im Innern aufsteigend.
47. Windstille rings umher, heftiges Kreisen unter der Trombe und in den Wolken.
50. Trombe mit Blitz und Donner; Spiralbewegung; dreifache Trombe, die sich zu Einer vereinigt und wieder trennt.
54. Die Trombe geht über das Schiff und schüttelt es; heftiger Stofs beim Fortgehen.
58. Mehrere Tromben in oscillirender Bewegung. Blitze zwischen Wolken.
60. Doppeltrombe; ein Theil davon löst sich in drei Wasserstrahlen auf.

Landtromben.

1086	1.	Italien	Aug. 1456	Macchiavel hist. Flor. l. 6. Ammirah' hist. Flor. l. 23.
	2.	Reims	10. Aug. 1680	Richard hist. nat. air 6. 505.
	3.	Verona	29. Juli 1686	Boscovich diss. s. l. trombe.
	4.	Brie	15. Aug. 1687	Richard hist. nat. air 6. 528.
	5.	Hatfield	15. Aug. 1687	de la Pryme phil. trans. 1702. 1248.
	6.	Topsham	7. Aug. 1694	Mayne phil. trans. 19. 28.
	7.	Hatfield	21. Juni 1702	de la Pryme phil. trans. 1702. 1331.
	8.	Emott-More	3. Juni 1718	Richardson phil. trans. 30. 1097.
	9.	Bocanbrey	30. Mai 1725	de Bocanbrey mém. ac. Par. 1725. 5.
	10.	Moklinta	27. Sept. 1725	Kalsenius Act. lit. suec. 1725. 2. 106.
	11.	Capestan	21. Aug. 1727	Mém. acad. Par. 1727. 4.
	12.	Montpellier	2. Nov. 1729	Serres mém. Ac. Montp. 2. 24.
	13.	Ancona	1733	Boscovich diss. 2 p. §. 50.
	14.	Holkam	Aug. 1741	Lovell phil. trans. 42. 183.
	15.	Huntingtonshire	8. Sept. 1741	Faller ebend 41. 851.
	16.	Aix en Prov.	17. Juni 1745	Boscovich diss. 2 part.
	17.	Arezzo	20. Mai 1748	ebendas.
	18.	Rom	12. Juni 1749	ebendas.
	19.	Rutland	15. Sept. 1749	Barker phil. trans. 46. 248.
	20.	Mirabeau		Richard hist. nat. air 6. 525.
	21.	Malta	29. Oct. 1757	Brydone arch. etc. de France No. 11.
	22.	Rostock	20. Juli 1758	Wilcke Franklin's Briefe* 348.
	23.	Leicester	10. Juli 1760	Winthrop phil. trans. 52. 9.
	24.	Oxford	21. Sept. 1760	Swinton phil. trans. 52. 99.
	25.	Arcachon	14. März 1774	Butet journ. phys. Roz. 7. 334.
	26.	Eu	16. Juli 1775	Rozier journ. phys. 7. 70.
	27.	Dijon	20. Juli 1779	Maret mém. ac. Dijon 1783. 152.
	28.	Carcassonne	3. Nov. 1780	Lespinasse journ. phys Roz. 16. 355.
	29.	Escale	15. Juni 1785	Mém. acad. Toulouse 3. 114.
	30.	Marliac	13. Juni 1787	Arbas mém. ac. Toul. 4. 77.
	31.	Merlerault	Juni 1791	Egasse. Peltier tromb.* 331.
	32.	Peru	1802	Humboldt Ansichten d. Natur.
	33.	Viguzzolo	30. Juli 1804	Leardi mém. ac. Turin 20.
	34.	Paris	16. Mai 1806	Lamarck ann. météor. 1807.
	34a.	Zwischen Wolken	31. Juli 1808	Lamarck ann. météor. 1809.
	35.	Moritzinsel	5. Febr. 1815	Mallac archiv. île de France 11.

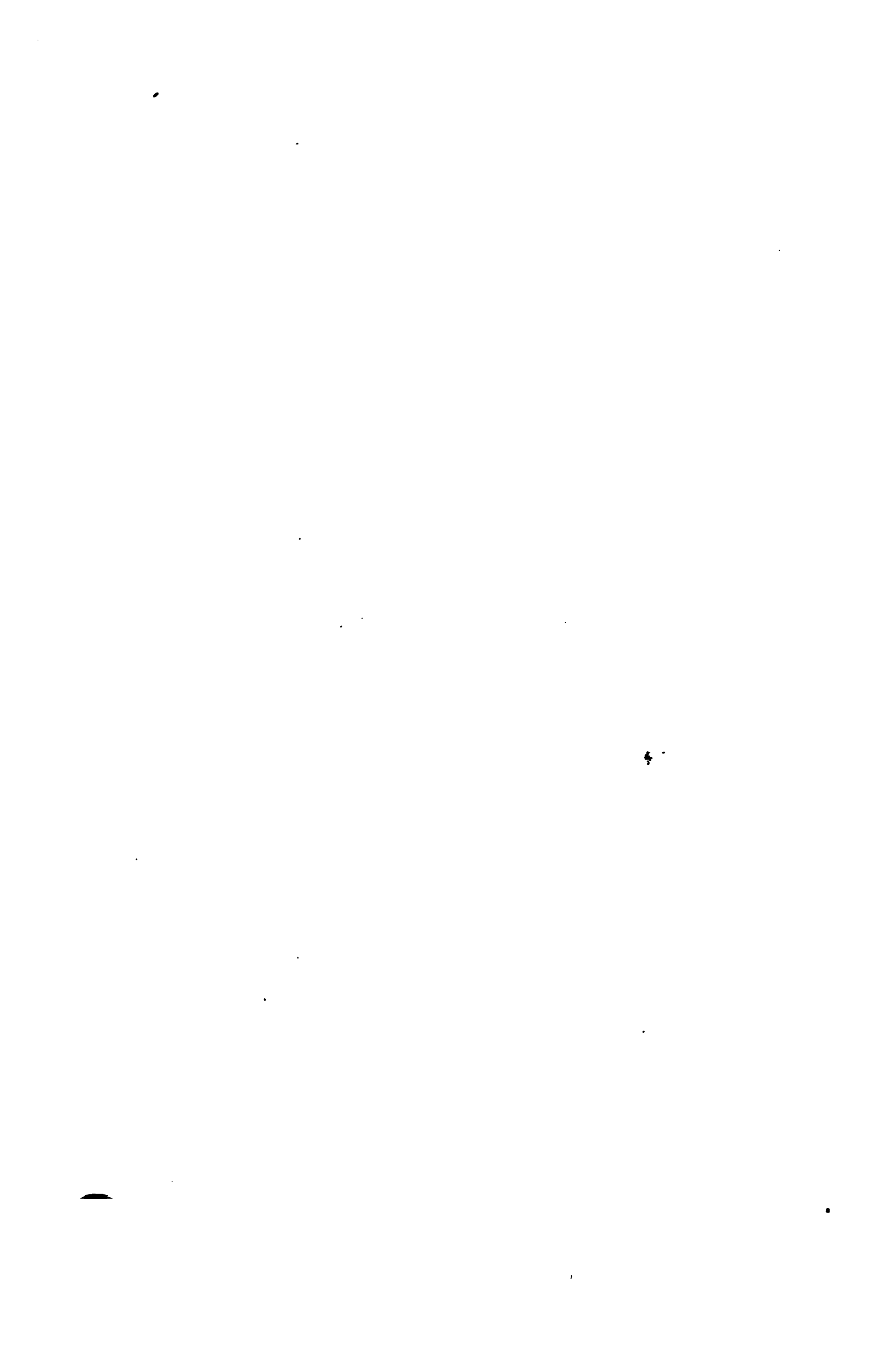
36.	Kent	27. Juni 1817	Tilloch phil. mag. 1817. 50. 146.	[1086]
37.	St. Angelo	14. Aug. 1817	Journ. Commerce 18. Sept. 1817.	
38.	Regneville	16. Juni 1822	Ann. de chim. 1822.	
39.	Assonval	6. Juli 1822	Demarquoy Ann. d. chim. et d. phys. 24. 433.	
40.	Rouvier	26. Aug. 1823	Defrance Bullet. Fér. 1823.	
41.	Valeggia	16. Sept. 1823	Pagliaris Annal. de chim. et phys. 24. 439.	
42.	Wesseling	4. Aug. 1824	Nöggerath Kastn. Arch. 3. 52.	
43.	Carcassonne	26. Aug. 1826	Courr. franç. 19. Sept. 1826.	
44.	Ruwer	25. Juni 1829	Grofsmann Ann. de chim. 42. 420.	
45.	am Ganges		Biblioth. univers. 6. 155.	
46.	Bronte	1. Oct. 1834	Elie de Beaumont.	
47.	la Française	27. Juli 1835	Echo monde sav. 1835. n. 73.	
48.	Mornay	Sept. 1835	Mauduyt ebend. n. 83.	
49.	Caux	13. Sept. 1835	ebend.	
50.	New - Brunswick	Juni 1836	Hare journ. am. scienc. 32. 158.	
51.	Providence	Aug. 1838	Hare transact. amer. soc. vol. 6. part. 2.	
52.	Châtenay	18. Juni 1839	Peltier s. l. trombes. 151.	
53.	Petit-Montrouge	1. Sept. 1839	ebendas. 367.	
54.	Dép. de Vaucluse	30. Mai 1841	Renaux, Gasparin Compt. rend. 13. 223.	
55.	Railingen	Juli 1845	Schimper Mannheim. Journ. N. 74.	
56.	Malaunay, Montville	19. Aug. 1845	Pouillet Compt. rend.* t. 21. p. 494. 548. 556.	
57.	Moulins	26. Jan. 1846	Compt. rend.* 22. 344.	
58.	Ohio	20. Oct. 1847	Espy philosophy of storms 321.	
59.	Schwedt	30. Mai 1850	Wessel Poggend. Annal.* 82. 455.	

Bemerkungen.

1. Nachts; kleine Wolken steigen auf und ab, theils mit gerader, theils mit kreisender Bewegung; elektrische Entladungen zwischen den Wolken. Starke Windstöfse führen einige Gegenstände fort, ohne sie umzuwerfen.
2. Die Trombe als feurige Pyramide erscheinend.
3. Blitze. Wolkenwirbel mit Lichterscheinung. Dumpfes Geräusch. Schwefelgeruch.
4. Gewitter, unmittelbar nach dem Einschlagen des Blitzes die Trombe.
5. Schnelles Kreisen der Trombe, aufsteigendes Wasser.
6. Ein Apfelbaum gegen den Wind fortgeführt, aufsprühendes Wasser, Kreisen der Trombe.
7. Windstille, Kreisen.
8. Eine grofse Wassermenge fällt aus der Trombe und höhlt einen Kanal.

[1086] 9. Die Trombe endigt unten in einem Feuerwirbel, Dämpfe angezogen und abgestofsen.
10. Zusammengeballte Dämpfe in Drehung; ein Gerüst gegen den Wind fortgeführt, das Wasser eines Sees wie eine Mauer aufgezogen; unangenehmer Geruch.
11. Windstille umher, eine zweite Trombe vereinigt sich mit der ersten, vorher Donner, nachher Hagel.
12. Feuersäule in der Mitte; Schwefelgeruch.
13. Nachts. Ein Schiff zertrümmert, Bleiplatten fortgeführt.
14. Windstille, klarer Himmel, elektrische Entladungen.
15. Drehung, Windstille vor- und nachher.
16. Feuererscheinung; pendelnde Bewegung, läfst ein Kind tanzen, wie im elektrischen Puppenspiele.
17. Feuer im Kegel und in der Wolke; zwei Menschen aufgehoben und fortgeführt.
18. Blitze, Donner, Schwefelgeruch; die Blätter der Bäume geröthet; Pflaster und Estrich aufgehoben, eine Lampe brennend fortgeführt.
19. Windstille vorher; Blitze und Feuerbüschel, Wirbel unter dem Kegel, die Trombe schreitet schneller fort als der Wind.
20. Donner, Hagel; das Wasser eines Flusses 300 Schritte fortgeschleudert. Menschen ohne Beschädigung fortgeführt.
21. Nachts. Wirkungskreis begränzt. Steinplatten aufgehoben. Kanonen umgedreht. Donner, Schwefelgeruch.
22. Vollkommene Windstille; Staubtrombe, elektrische Entladung zwischen den Wolken und dem Staubkegel.
23. Gewitter geht in eine Trombe über. Wolken ziehen einander an und kreisen. Eingesetzte Steine aufgehoben.
24. Halbkreisförmige Trombe ohne anhängendes Gewölk.
25. Blitz, Schwefelgeruch, Hagel. Kräuter geröthet. Nebenwolken in gerader Linie aufsteigend.
27. Explosion bei Bildung der Trombe, die Säule aus Dämpfen gebildet, die von Wiesen aufsteigen. Das Wasser eines Teiches in Tropfen aufgezogen. Die Trombe rotirt erst nach einem Stofse gegen einen Felsen, sie geht beinah dem Winde entgegen.
28. Das untere Ende der Trombe in wellenförmiger Bewegung, Sandstrahlen. Pflaster aufgehoben. Das Estrich in der Mitte eines Zimmers aufgehoben, ohne dafs herumstehendes Porzellan berührt wird. An der Trombe kein Regen; am andern Wolkenende Platzregen.
29. Hagel, Donner; elektrische Anziehung und Abstofsung.
30. Windstille, Funken, ein Feuerkreis mit Zickzack-Strahlen; Donnerschlag beim Bruch der Trombe; Pflanzen ausgetrocknet und gedörrt.
31. Begrenzte Trombe, in der Mitte durchsichtig; in Spiralen aufsteigende Dämpfe, Wirbelwind unter der Trombe, Donner beim Verschwinden.
33. Kreisende Bewegung. Das Wasser eines Regentümpels gänzlich aufgehoben.
34. Drei Tromben. Gewitter. Tromben mit durchsichtiger und leuchtender Säule, undulirend aufsteigender Dampf. Entzündete Dämpfe. Eine benachbarte Gewitterwolke geht mit der Trombe in entgegengesetzter Richtung.
35. Drehung, Furchen in der Trombe. Der Durchmesser der Trombe ändert sich nach dem Leitungsvermögen des Erdbodens.
36. Warzenförmige Trombe, Bewegung nach allen Seiten und Verstrickung aller warzenförmigen Erhöhungen.
37. Bei heiterem Himmel. Leinen durchlöchert und verbrannt.
38. Heiterer Himmel, sich später bewölkend, das Geräusch nimmt ab indem die Trombe über Wasser geht.
40. Windstille, Gewitter: Blätter ausgedörrt und geröthet. Gegenstände gegen den Wind fortgeführt.

42. Drehung, der Rhein vertieft, Wasser gehoben, Gewitter und Hagel nachher. [1086]
44. Eine leuchtende Masse bewegt sich gegen die Wolke; ein Mann angezogen und abgestofsen, Schwefelgeruch, nachher Gewitter.
47. Gewitter in die Trombe übergehend.
49. Wasser eines Teiches mit Fischen in die Höhe gezogen.
50. Die Mauern eines Hauses nach aufsen umgeworfen; Blätter ausgedörrt.
51. Gegenstände bis zur Höhe der Wolken geführt.
52. Gewitter vorher, Feuerkelch am Ende des Kegels, Bäume in Latten bürstenförmig gespalten, die äufseren Bäume eines Parkes gegen die Mitte umgeworfen, Blätter nach der Seite der Trombe geröthet.
53. Nachts. Gewitter vorher, Grundmauern aufgewühlt.
54. Ein Staubwirbel geht durch das Städtchen Courthezon, richtet daselbst Verwüstungen an, und zerschmettert einen Mann an einer Mauer. Erst zwei Minuten später senkt sich ein Wolkenzipfel zu diesem Wirbel hinab. Zwei Meilen davon bildet sich eine andere Trombe, die sehr langsam vorschreitet, während Baumzweige und Stroh reifsend schnell in ihr Inneres schraubenförmig aufgezogen werden.

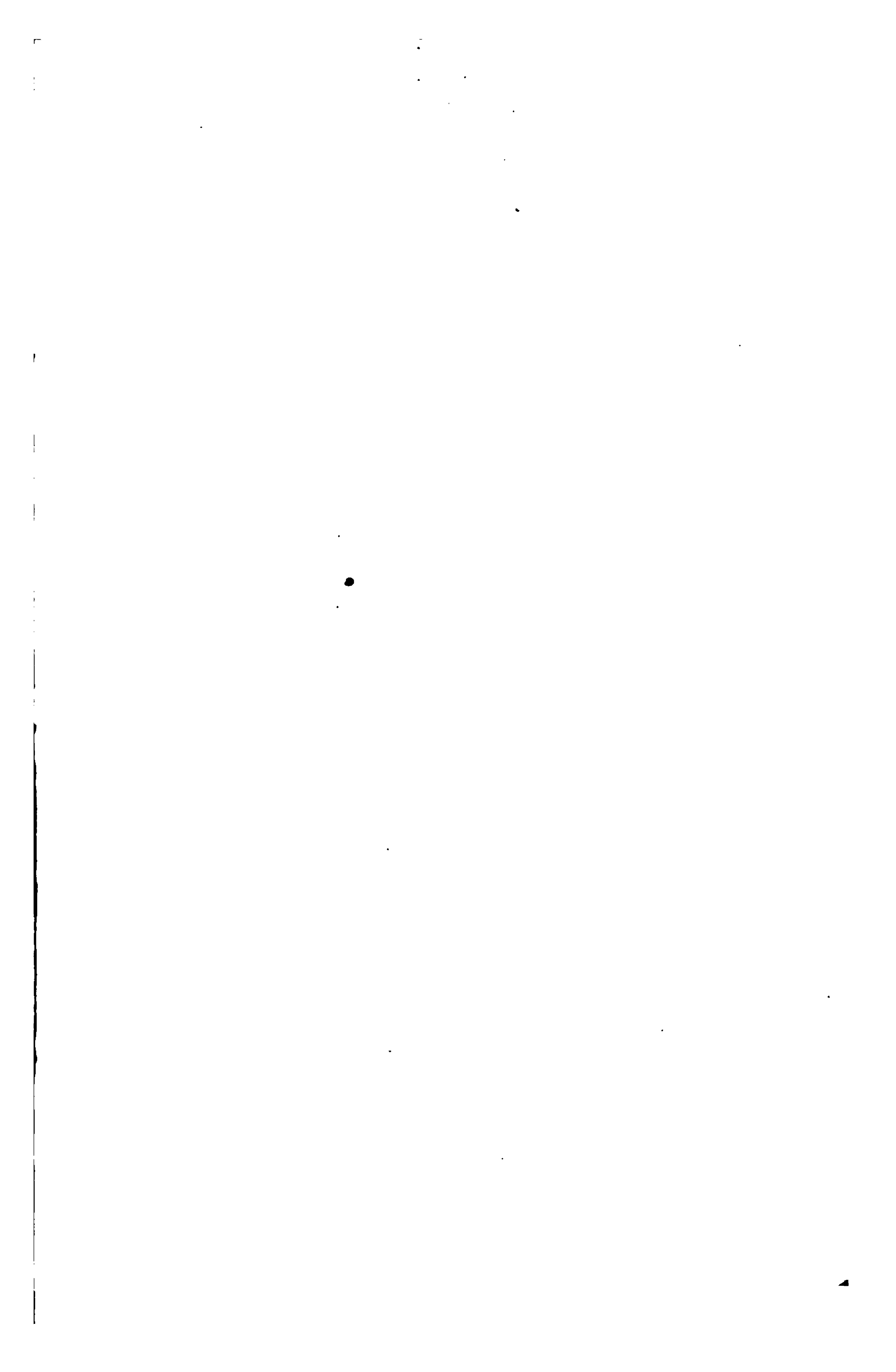


Sachverzeichniſs.

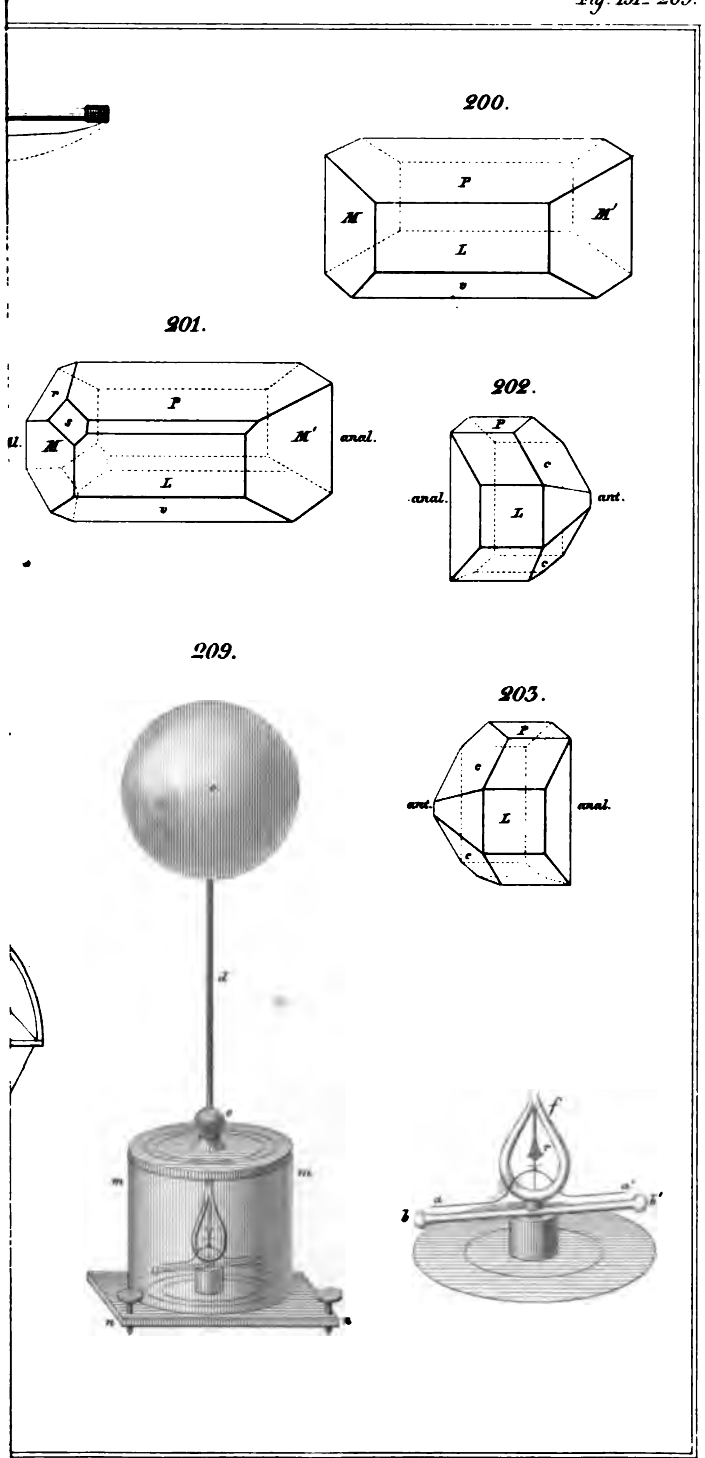


Sachverzeichnifs.

Nach Paragraphen. Der erste Band schliefst mit §. 548.

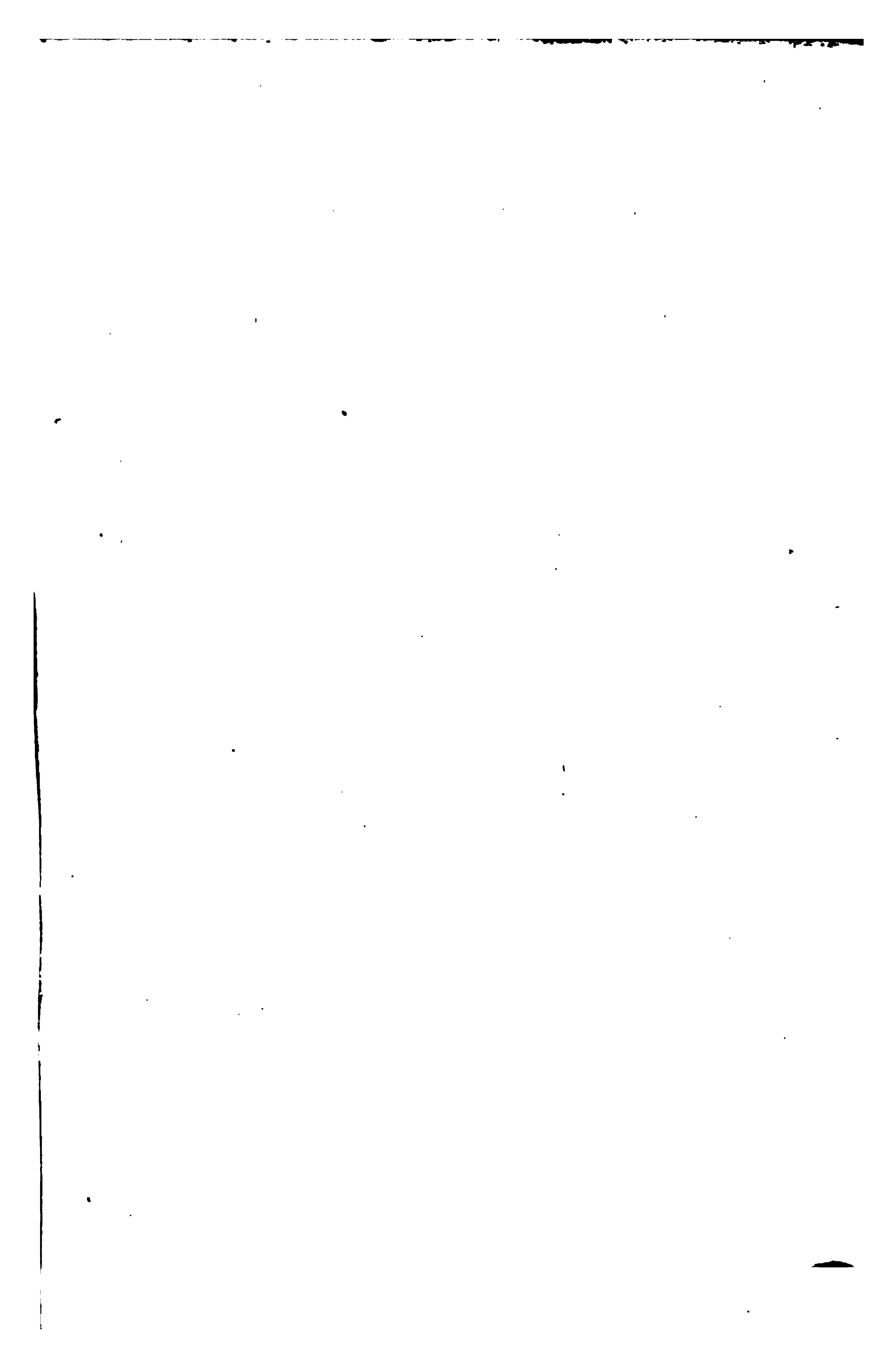




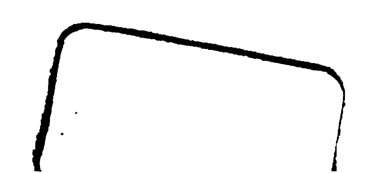


Knoblauch sc

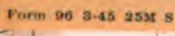


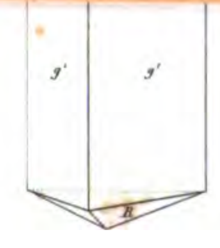



UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 06586 2263

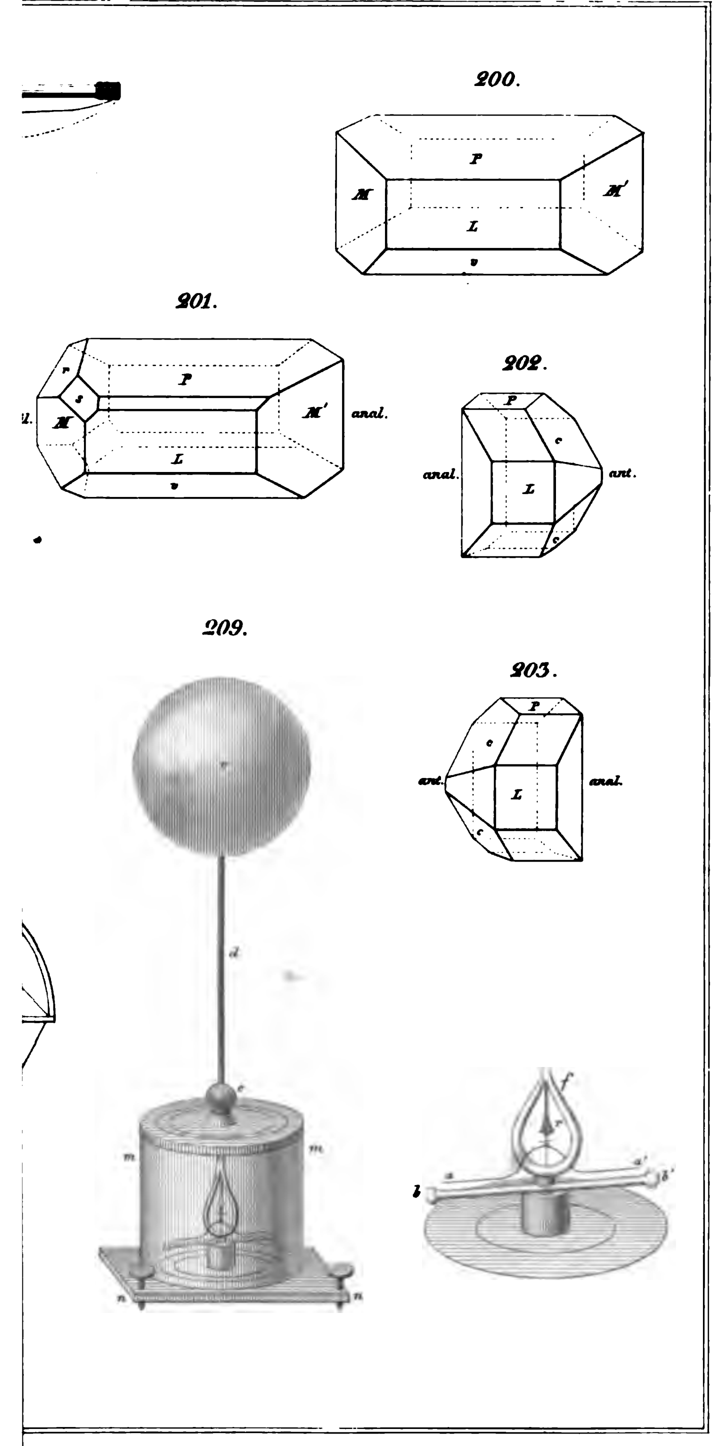








Knoblauch sc.



Knoblauch sc.